بريجيته فالكينبورج

المركز القومي للترجمة

مكتبة
الفكر الجديد
01-06-2018

ميتافيزيقا الجُسيمات

دارسة نقدية لواقعية ما دون الذرة

ترجمة

نبيل ياسين البكري

أحمد حمدى مصطفى

2790

ميتافيزيقا الجُسيمات

دراسة نقدية لواقعية ما دون الذرة

المركز القومى للترجمة
تأسس فى أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور
مدير المركز: أنور مغيث

- العدد: 2790
- ميتافيزيقا الجسيمات: دراسة نقدية لواقعية ما دون الذرة
- بريجيته فالكينبورج
- نبيل ياسين البكرى، وأحمد حمدى مصطفى
- الطبعة الأولى 2017

هذه ترجمة كتاب:

Particle Metaphysics: A Critical Account of Subatomic Reality
By: Brigitte Falkenburg
Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
Translation from the English language edition:
Particle Metaphysics by Brigitte Falkenburg
Springer- Verlag is a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمركز القومى للترجمة
شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤
El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.
E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

مكتبة الفكر الجديد

ميتافيزيقا الجُسيمات

دراسة نقدية لواقعية ما دون الذرة

تـــــــأليف: بريجيتـــه فـــالكينبورج

ترجمـــــــة: نبيل يـــاسين البكـــرى

أحمد حمـــدى مـــصطفى

2017

مكتبة الفكر الجديد

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

فالكينبورج، بريجيته
ميتافيزيقا الجسيمات : دراسة نقدية لواقعية ما دون الذرة
تأليف: بريجيته فالكينبورج، ترجمة: نبيل ياسين البكرى؛ أحمد حمدى مصطفى
ط ١ – القاهرة : المركز القومي للترجمة، ٢٠١٧
٧١٦ ص، ٢٤ سم
١ – ما وراء الطبيعة ، علم
(أ) البكرى ، نبيل ياسين (مترجم)
(ب) مصطفى ، أحمد حمدى (مترجم مشارك)
(ج) العنوان ١١٠

رقم الإيداع ٢٦٨٤٥ / ٢٠١٥
الترقيم الدولي: I.S.B.N - 978 - 977-92 - 0521- 2
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومي للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربي وتعريفه بها. والأفكار التي تتضمنها هي اجتهادات أصحابها في ثقافاتهم، ولا تعبر بالضرورة عن رأي المركز.

مكتبة الفكر الجديد

مجموعة آفاق المعرفة

انطلاقًا من استشعار المركز القومى للترجمة المسئولية عن تقديم الأعمال الجادة، التى تمثل إضافة معرفية للمكتبة العربية، وهى المسئولية التى قد لا يكون من المتوقع أن يضطلع غيره بها، فقد وقع اختياره على "مجموعة الآفاق" التى تصدرها دار شبرنجر المعروفة بتميز إصداراتها. وقد تم هذا الاختيار بناء على المميزات التالية للسلسلة المذكورة:

أنها مخصصة للمشكلات الجارية الجديدة والبازغة فى العلم الحديث، وما يدور حولها وحول تحدياتها من نقاشات أكاديمية وفلسفية خصبة.

ورغم كون هذه المشكلات تمثل قمة العلم فى مجالاتها المختلفة، فإن إصدارات السلسلة تختلف عن غيرها من الإصدارات العلمية المتخصصة ذات الموضوع الواحد (المونوجراف) فى حرصها على تقديم المعرفة المحققة بصورة تتيح للقارئ المثقف غير المتخصص أن يلم بمغزاها ودلالاتها، وذلك يعد من أهداف المركز الأصلية.

وبخلاف الصيغة التقليدية للمونوجراف التى تكون أحادية النظرة فى كثير من الأحيان، فإن السلسلة تعالج الموضوع الواحد من زوايا مختلفة، تسمح باستيعاب عطاء الدراسات البينية والمتعددة الفروع ذات الصلة، فى المعالجة الموسوعية المدققة للموضوع.

ولا يقل عن ذلك أهمية، أنها تتيح للمشتغلين بالعلم الاطلاع على القضايا المهمة، والتى كثيرًا ما تكون خلافية، والتى تقع خارج نطاق تخصصاتهم. وهذا الأمر ينعكس على مجالاتهم ويثريها فى العصر الحديث عن وحدة المعرفة وتكاملها.

مكتبة الفكر الجديد

أخيرا، فإن التنوع الكبير الذى تتميز به مجموعة الآفاق سيحفز القارئ، كما يستهدف محررو السلسلة بحق، أن يوسع من آفاق معرفته الخاصة.

لهذه الأسباب كلها يسعد المركز أن يقدم ترجمة عربية للعديد من عناوين هذه السلسلة للقراء المهتمين والعلماء والباحثين، راجيًا أن تحقق أهدافها، وداعيًا الجميع إلى التواصل بتقديم ملاحظاتهم ومقترحاتهم بخصوصها.

المركز القومى للترجمة.

مكتبة الفكر الجديد

الإهـــداء

إلى أمي

مكتبة
الفكر الجديد

المحتويات

تقديم 15

تصدير 19

الفصل الأول: الواقعية العلمية

١-١ المعرفة التجريبية والميتافيزيقا 43

١-٢ تمييزات أكثر أو أقل تجريبية 56

١-٣ الواقعي والفعلي 70

١-٤ الواقعية ونظرية الكم 84

١-٥ ميتافيزيقا الفيزياء 96

١-٦ نحو واقعية الخصائص 108

الفصل الثاني: توسيع مدى الواقعية الفيزيائية

٢-١ عرض الكميات الفيزيائية 119

٢-٢ الأمْثَلَة والمنهج التجريبي 128

٢-٣ الكشف أم التصنيع؟..... 139

٢-٤ الظواهر وعللها 152

مكتبة الفكر الجديد

٢-٥ تعميم الملاحظة 163
٢-٦ الواقعية التجريبية للفيزياء 174

الفصل الثالث: مُلاحظة الجُسيم وقياسه

٣-١ ثنائية المفهوم الجسيمي 191
٣-٢ الدليل على وجود جُسيم: مثالان تطبيقيان 197
٣-٣ تنظير المُلاحظات 212
٣-٤ مسار البوزيترون 245
٣-٥ تحديد الجسيم والديناميكا الكهربية الكمية 252
٣-٦ هل توجد جسيمات دون ذرية؟ 261

الفصل الرابع: سبر أغوار البنية دون الذرية

٤-١ تجارب التشتت 273
٤-٢ تشتت "رذرفورد" والمقياس غير المتغير 282
٤-٣ شبيه النقطية فى النطاق الكمى 288
٤-٣-١ معامل الشكل التقليدى 292
٤-٣-٢ تعميمات نسبوية 299
٤-٤ سلسلة النماذج 309
٤-٥ التناظر مع الميكروسكوب الضوئي 318
٤-٦ النظر داخل الذرة 326

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الخامس: القياس ووحدة الفيزياء

٥-١ اللامقياسية والقياس 337

٥-٢ نظرية القياس غير المتجانسة 347

٥-٣ مسارات الجسيمات 356

٥-٣-١ تنبؤات "موت" حول المسارات التقليدية 358

٥-٣-٢ حساب "بيث" للطاقة المفقودة 363

٥-٣-٣ كيف تنهار الصورة التقليدية 373

٥-٣-٤ تحليل البيانات فى تجارب التشتت 376

٥-٤ بناء الجسور: توحيد المبادئ 381

٥-٤-١ مبدأ التناظر لـــ "بور" 383

٥-٤-٢ تعميم مبدأ التناظر 386

٥-٤-٣ مبادئ توحيد أخرى 393

٥-٥ مقاييس الكميات الفيزيائية 400

٥-٦ تساؤلات مجردة حول اتساق المدلول اللفظى 407

الفصل السادس: تحول جوهري في المفهوم الجسيمي

٦-١ الجسيمات الكلاسيكية 419

٦-٢ انتقال إلى الجسيمات الكمية 426

مكتبة الفكر الجديد

٦-٢-١ الموجات المادية 428
٦-٢-٢- كمات الضوء 432
٦-٣ المفهوم الإجرائي للجُسيم 436
٦-٤ مزيد من الجسيمات الكمية 441
٦-٤-١ كمات المجال 444
٦-٤-٢ تعريف المجموعة النظرية 454
٦-٤-٣ الجسيمات الافتراضية 461
٦-٤-٤ أشباه الجسيمات 471
٦-٥ أجزاء المادة 486
٦-٥-١ تعميم مكونات المادة 487
٦-٥-٢ نموذج الكوارك 494
٦-٦ ماذا تبقى من أنواع الجسميات؟ 505

الفصل السابع: ازدواجية الموجة - الجُسيم

٧-١ جسيمات الضوء وموجات المادة 522
٧-٢ الازدواجية الموجية – الجسيمية في ميكانيكا الكم 525
٧-٢-١ الاحتمالية الموجية لبورن 526
٧-٢-٢ رؤية بور التتامية 532

مكتبة الفكر الجديد

٧-٢-٣ تماثلات هايزنبرج 541
٧-٣ صياغة الموجات ورصد الجسيمات 543
٧-٣-١ ما الذي يصنع الفارق؟ 547
٧-٣-٢ فوتون واحد من مصدري ليزر 554
٧-٣-٣ فوتونات مستقطبة 557
٧-٤ إعادة اعتبار الشق المزدوج 564
٧-٤-١ كيفية تخزين ومحو مسار المعلومات 567
٧-٤-٢ هل توجد التتامية دون عدم التحديد؟ 576
٧-٤-٣ العلاقات الازدواجية 585
٧-٥ تجارب الاتجاه الحديث 592
٧-٦ مسببات الظواهر 609

الفصل الثامن: واقعية ما دون الذرة

٨-١ إعادة النظر في الواقعية العلمية 616
٨-٢ معنى مفاهيم الكم 620
٨-٣ المفهوم الميريولوجي للجُسيم 624
٨-٤ المفهوم العلي للجُسيم 630
٨-٥ ازدواجية الموجة – الجسيم 632
٨-٦ واقعية ما دون الذرة: رؤية نقدية 639

مكتبة الفكر الجديد

الملاحق

ملحق (أ): نظرية القياس 653

ملحق (ب) : المُبرهنة الثانية للتحليل البُعدي 663

ملحق (ج) : مساحة المقطع المؤثر 666

ملحق (د) : التحليل البعدي لتشتت رذرفورد 670

ملحق (هـ) : منطق العلاقات بين الكل والأجزاء (الميريولوجيا).. 674

قائمة بالمراجع 683

معجم إنجليزي-عربي 715

معجم عربي- إنجليزي 718

مكتبة الفكر الجديد

تقديم

الميتافيزيقا لغة هي ما بعد الطبيعة، وهي في التقليد الفلسفي الموغل في تاريخ الفكر الإنساني البحث عن العلل الأولى، أو البحث في الموجود بما هو موجود. أما اليوم فالميتافيزيقا مصطلح جامع لأي بحث يُثير التساؤلات حول واقعية ما لا يُمكن التعامل معه بالمنهج العلمي.

أما الجُسيمات فهي جُسيمات ما دون الذرة، إذ يعرف فيزيائيو الجُسيمات اليوم أن هناك مجموعتين من هذه الجُسيمات التي تُبنى منها المادة، وهما الكواركات واللبتونات. يندرج تحت كل مجموعة من هاتين المجموعتين ستة أنواع؛ فبالنسبة إلى الكواركات هناك: الأسفل والأعلى والغريب والمألوف والقاع والقمة، أما في مجموعة اللبتونات فهناك: الإلكترون ونيوترينو الإلكترون والميون ونيوترينو الميون والتاو ونيوترينو التاو. والسؤال الآن إذا كان العلم قد قطع خطوات واسعة نحو تفكيك بنية المادة والنفاذ إلى جُسيماتها الدقيقة، فماذا نحن فاعلون إذًا بالميتافيزيقا؟!

أليست هذه هي الميتافيزيقا التي طالما تعرضت للهجوم عليها، وطالما ارتبط الهجوم عليها بنجاح العلم في تحقيق قفزات واسعة نحو تفسير الكون والطبيعة؛ بل وجرى اعتبارها على طرف النقيض من العلم الحديث، فالعلم عيني تجريبي، أما الميتافيزيقا فتأملية نظرية؛ إنها محاولة لفض أسرار الطبيعة دون ملاحظة أو تجربة.

مكتبة الفكر الجديد

شهد القرن العشرون انهيارًا للصورة الكلاسيكية لعلم الفيزياء ودعامتها الحتمية، فقد أبانت نظريتا النسبية والكم وتداعياتهما وتجلياتهما عن قصور في تصورات الفيزياء الكلاسيكية العينية لمفاهيم الكتلة والسرعة والزمان والمكان المُطلقين، كما فرضت طبيعة الموضوعات التي تدرسها الفيزياء المُعاصرة تطويرًا جذريًّا في شكل التجربة ومعناها؛ بل والمعنى الدقيق للموضوعية وطبيعة دور القائم بالمُلاحظة. لم يعد العلماء في فيزياء الجُسيمات يتعاملون مع ظواهر طبيعية مباشرة؛ بل أصبحوا يقدمون فرضيات قد ترقى إلى مرتبة النظرية حين تقوم بوظيفتها في الربط بين مجموعة من القوانين ويدعمها شبكة من العلاقات الرياضية مُستعينة بمفاهيم ابتكارية من قبيل الكمات، والمتصل المكاني الزماني، والموجة الميكانيكية الكمية. وقد استدعى كل ذلك تمحيصًا للحدود الفاصلة بين العلم والميتافيزيقا، والتجربة والفرض، والعيني والواقعي.

وإذا كان العلم في سباق محموم لا يتوقف نحو كل ما هو جديد من كشوف وتقنيات، وكثيرًا ما لا يتوقف العلماء ليقوموا بالفحص النقدي لأسس نظرياته مدفوعين بالثقة الفائقة في آلية التصحيح الذاتي الكامنة في صلبه، فإن فلسفة العلم تضطلع بدورها في التأمل في العلم؛ منهجه ومنطقه وخصائص المعرفة العلمية وشروطها وطبائع تقدمها، وعلاقتها بالمتغيرات المعرفية الأخرى.

من هنا؛ فالبحث الماثل بين أيدينا "ميتافيزيقا الجُسيمات؛ دراسة نقدية لواقعية ما دون الذرة" هو بحث في فلسفة العلم، لمؤلفته التي جمعت بين دراسة الفيزياء والفلسفة، وتخصصت في فيزياء الجُسيمات، ثم صارت أستاذ

مكتبة الفكر الجديد

الفلسفة النظرية وفلسفة العلم والتقنية في جامعة دورتموند. تُناقش الكاتبة فيزياء الجُسيمات من الناحية الأبستمولوجية وتعرض لها من خلال العديد من المواقف الفلسفية المختلفة، كما تتعرض بالفحص النقدي لمناهج البحث التجريبي المعاصر وأدواته، وتبحث في الدلالات الأنطولوجية لنتائجه ومُحصلاته. نأمل بترجمة هذا الكتاب أن نكون قد ملأنا فراغًا في المكتبة العربية، وأن يستفيد من هذا العمل القارئ الحريص على متابعة كل ما هو جديد في فلسفة العلم، والمُتخصص في الأبستمولوجيا والفيزياء على حد سواء.

المُترجمان

مكتبة الفكر الجديد

تصدير

إن الميتافيزيقا – بوصفها قدرًا – التي وقعت فى أسر حبها وإن كانت لا تعطيني الكثير لأتباهى به لها نوعان من المزايا؛ يتمثل النوع الأول في أن باستطاعتها حل المشاكل التي يطرحها العقل، حين تستخدم العقل لتعقب الخصائص الخفية للأشياء. إلا أن التطلعات في هذا الصدد تتعرض لخيبة أمل حين ترى النتائج. وفي هذه الحالة أيضًا فإن الرضا يتفلت من أيادينا النهمة [...] الميزة الثانية للميتافيزيقا هي الأكثر تناغمًا مع طبيعة الفهم البشري. إنها تكمن في [...] معرفة أي علاقة تربط بين التساؤل والمفاهيم التجريبية، والتي يجب أن تتأسس عليها أحكامنا في كل الأوقات. وإلى هذا المدى فإن الميتافيزيقا علم لحدود العقل البشري [...] لذا فإن الميزة الثانية للميتافيزيقا هي دون شك الأقل إدراكًا بالنسبة إلينا وإن كانت الأكثر أهمية، حتى إن كانت أيضًا ميزة لا يمكن بلوغها إلا في مرحلة متأخرة حقًّا وبعد خبرة طويلة.

إيمانويل كانط[1]

---

(1) **Kant 1766, Akad. 2.385–2.386.**

مكتبة الفكر الجديد

ترجع جذور مفهوم الجُسيم إلى الميتافيزيقا التقليدية والفلسفة القديمة. إن فكرة أن المادة تتشكل من مكونات ميكروسكوبية (مجهرية) بزغت منذ المذهب الذري القديم(*). وفي البواكير الأولى للفيزياء الحديثة، قام جاليليو وديكارت ونيوتن بتبني هذه الفكرة. اعتقد نيوتن أن ثمة ذرات من المادة والضوء، ولكنها تند عن نطاق التجريب في إطار طرق علوم الميكانيكا النيوتونية والبصريات. وفي القرن التاسع عشر نجحت النظرية الموجية للضوء، وتطورت الديناميكا الكهربية والديناميكا الحرارية والميكانيكا الإحصائية والنظرية الحركية للحرارة. وبعد مائتي عام من "برنكيبيا"(**) Principia نيوتن، اكتشف التجريبيون أشعة المهبط (الكاثود)، والأشعة السينية، والنشاط الإشعاعي، وبدءوا فحص البنية الذرية وما دون الذرية للمادة. وفي الوقت نفسه، رغم ذلك، كان التجريبي إرنست ماخ لا يزال شاكًّا في وجود مكونات ميكروسكوبية (مجهرية) للمادة غير قابلة للملاحظة، وطالب بالمزيد من الأفكار الطبيعية حول بنية المادة(١).

(*) المذهب الذري القديم **Ancient Atomism** اتجاه فلسفي يرى أن مادة البحث يُمكن أن تُقسم إلى جزئيات صغيرة لا تقبل التجزئة، فهي أشبه بالذرة. وقد طبق في علوم مختلفة أقدمها الطبيعيات عند ليقوبوس وديمقريطس، وهو يرد الكون إلى جزيئات صغيرة تتلاقى فيكون الوجود، وتتفرق فيكون العدم. انظر المعجم الفلسفي، مجمع اللغة العربية ١٩٨٣. (المترجمان)

(**) هو كتاب "الأسس الرياضية للفلسفة الطبيعية" لنيوتن والذي يُعرف اختصارًا بالبرنكيبيا أو المبادئ، يُعد أحد أهم الأعمال العلمية على الإطلاق في تاريخ العلم؛ حيث احتوى على قوانين نيوتن للحركة وأسس الميكانيكا الكلاسيكية. (المترجمان)

(١) **Mach 1883, 466.**

مكتبة الفكر الجديد

بدأت الفيزياء الحديثة للجسيمات مع ظهور الغرفة السحابية[*] (١٨٩٥) واكتشاف الإلكترون (١٨٩٧)[١]. فقد اتضح أن الضوء يأتي على هيئة كمات وأن الذرة لها نواة صغيرة للغاية. تعارضت الفرضية الكمية للضوء مع النظرية الموجية للضوء التي كانت تحظى بإثباتات جيدة، على حين بدت فكرة الذرة ذات النواة عائقًا أمام أي نموذج كلاسيكي ثابت للذرة. وبالنظر إلى الرؤى الكلاسيكية حول تكوين المادة والضوء، فقد كانت هذه الاكتشافات بداية لتاريخ من التحرر من الأوهام. لم تعُد بنية المادة والضوء تتلاءم مع الصورة الكلاسيكية للواقعية[**] دون الذرية. فكلما تكشف لنا عالم

(*) جهاز لاكتشاف جسيمات الإشعاعات المؤينة. وتتكون الغرفة السحابية **Cloud Chamber** من غرفة صغيرة زجاجية تحتوي على بخار ماء في درجة التشبع. وعندما يتفاعل جسيم ألفا أو جسيم بيتا مع جزيئات الوسط، تتأين الجزيئات على طول مسار الجسيم. وتحفز الأيونات المتولدة على مسار الجسيم على تكثف الماء عليها؛ حيث تكون تلك الأيونات بمثابة الأنوية لتكثف بخار الماء عليها. وبذلك يصبح مسار الجسيم مرئيًا. وتختلف مسارات الجسيمات عن بعضها، فمثلاً تكون مسارات جسيم ألفا عريضة ومستقيمة، بينما يكون مسار الإلكترون رفيعًا. (المترجمان)

(١) لمزيد حول اختراع الغرفة السحابية لـ س.ت.ر. ويلسون انظر ميليكان ١٩١٧، ٤٦، وبايس ١٩٨٦، ٨٦. وللمزيد حول اكتشاف الإلكترون انظر فقرة ٢-٣.

(**) تُستعمل كلمة واقعية في الفلسفة بعدة معان لا يربط بينها رابط متين، إلا أن ما يعنينا هنا في المقام الأول "الواقعية العلمية" التي ترى أن الكيانات التي تتطلبها نظرية علمية ناجحة (أي راسخة) هي كيانات واقعية. ومن ثم توجد الإلكترونات في الواقع؛ بل هي موجودة بالمعنى نفسه الذي توجد به قوالب القرميد والصخور والموائد والكراسي. انظر: وليم جيمس إيرل، مدخل إلى الفلسفة، ت. عادل مصطفى، المجلس الأعلى للثقافة ٢٠٠٥، ص١٠٦. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

ما دون الذرة، تعذر علينا تفسيره بالمفاهيم الفيزيائية المألوفة؛ إذ ثمة تعارض بين المفهوم الكلاسيكي للجسيم والنظرية الكلاسيكية للإشعاع من جهة، والظواهر الكمية لفيزياء ما دون الذرة من ناحية أخرى. ومن ثم، فحين أصبح واضحًا أنه لا وجود لشكل كلاسيكي لظواهر فيزياء الكم، عادت الشكوك القديمة لتطرح التساؤل حول وجود الذرات من جديد. فبعد بزوغ فجر ميكانيكا الكم، ظهرت سجالات فلسفية لا تنتهي حول واقعية العمليات والجسيمات دون الذرية لتأخذ مكانها جنبًا إلى جنب مع السجال حول وجود كيانات غير قابلة للملاحظة.

يسعى هذا الكتاب إلى فك اشتباك هذه السجالات الفلسفية القديمة والجديدة حول واقعية ما دون الذرة. فيحاول أن يشرح بالتفصيل كيف يمكن للمرء اليوم أن يتحدث عن الجسيمات. ولكن ما الجسيمات المكونة لفيزياء الجسيمات في الوقت الراهن، في أعقاب ثورة ميكانيكا الكم(*) وإخفاق مفهوم الجُسيم الكلاسيكي؟ وما مدى مشروعية الزعم أن فيزياء الجسيمات الحديثة تشير إلى مكونات دون ذرية للمادة وجُسيمات أُخرى دون ذرية؟ هذه الأسئلة سوف يُجاب عنها في ضوء الأفكار التالية:

١- يتأسس المفهوم الكلاسيكي للجُسيم على افتراض ميتافيزيقي قوي حول الأشياء الفيزيائية وتأثراتها. وتُعد فيزياء ميكانيكا الكم أقوى

(*) يتم استخدام كلمة "الكم" كترجمة سائدة في مقابل كلمة **Quantum**، فيما تُستخدم كلمة "كوانتم" ومشتقاتها عندما تظهر كلمة "كمية" **Quantity** أو مشتقاتها في الجملة نفسها، وذلك تفاديًا لحدوث أي لبس. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

الانتقادات في مقابلها، ويجب على أي رؤية للواقعية دون الذريـــة أن تأخذ هذا النقد في الاعتبار.

٢- لتجسيد هذا النقد، يجب عمل استقصاء تفصيلي لظواهر فيزياء مـــا دون الذرة، والطرق التي تحدث بها في التجارب، واللغة التي تُعبر عنها.

٣- إن طرق قياس فيزياء الجسيمات بعيدة عن أن تكون مباشرة. ومـــع تطور فيزياء الجسيمات فقد أصـــبحت معقـــدة ومحملـــة بالنظريـــة theory-laden(*) أكثر فأكثر. ومن الأفضل أن يتم تحليلها في إطار تفسير تاريخي يتتبع نمو نظريات القياس.

٤- أصبح من الممكن القول مجازًا: "إننا ننظر داخل الذرة"؛ حيث تقـــوم في فيزياء الطاقة العالية معجلات أكبر فأكبر باستكشاف بُنى أصـــغر فأصغر، ويستحق منطق هذه الاستعارة التوقف عنده والانتباه إليه.

٥- يدخل العديد من القوانين الكلاسيكية في طرق القياس الخاصة بفيزياء الجُسيمات. وهو ما أخل بوحدة الفيزياء. ورغم ذلك فـــإن أجزاءهـــا تلتئم بواسطة عدد من مبادئ التوحيد من بينها نسخة مُعممة من مبدأ بور للتناظر(**).

(*) المقصود بهذا المصطلح هو أن اللغة التي تستعمل لكي تجسد الملاحظات وتصف النتائج التجريبية هي ذاتها شيء تحدده نظرية معينة وتقدر له شكله وصفته مقدمًا؛ فتوصف اللغة التي يستخدمها عالم ملتزم بنظرية معينة بأنها لغة محملة بالنظرية **Theory-laden**. (المترجمان)

(**) مبدأ التناظر لبور: **Bohr's Correspondence Principle** قاعدة مؤداها أنه عندما تكون أعداد الكم لنظام ذري عالية القيمة، فإن نتائج نظرية الكم لهذا النظام تتوافق مع نتائج تطبيق الميكانيكا الكلاسيكية عليه. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

٦- إن "الجُسيمات"، موضوع فيزيـاء الجُـسيمات المعاصـرة ليـست كلاسيكية. من هنا فلابد من حدوث تحول في المعنى لمفهوم الجُسيم. والحقيقة أن ثورة الكوانتم أحدثت العديد من التحولات في المعنى.

٧- في الممارسة الفيزيائية تكون المفاهيم الكمية للجُسيمات دون الذريـة مصحوبة بالإشارة، ضمنًا أو صراحةً، إلى ازدواجية الموجة-الجُسيم wave-particle duality(*). ويحتاج منطق هذا الحديث إلى اهتمام أكثر مما اعتبرته الفلسفة المعاصرة.

(*) خاصية مُميزة للجُسيمات دون الذرية تُمكنها من التصرف في بعض الأحيان كموجة وفي البعض الآخر كجُسيم. ظهرت هذه الازدواجية أول ما ظهرت في تجربة يـونج الضوئية الشهيرة، فباستخدام ثقب واحد لمرور الضوء كان يؤكد الخاصية الجُـسيمية، في حين كان فتح ثقبين يؤدي إلى ظهور مناطق التداخل المضيئة والمظلمـة. فكـان حيود الضوء دليلاً واضحًا على الطبيعة الموجية للضوء. ظهرت بعد ذلك علاقة دي برولي ومبدأ عدم اليقين لهايزنبرج ليؤكدا هذا التصور المزدوج لتطبيقه على جميـع الجُسيمات الذرية ودون الذرية وأصبح من الممكن الحديث عن تداخل الجُسيمات كما الحديث عن تداخل الموجات. يقول أينشتين عن هذه الازدواجية: "يبدو كما لـو أنـه يتعين علينا استخدام إحدى النظريتين أحيانًا والأخرى في أحيان أخرى، علـى حـين يُمكن استخدام أيهما في أوقات أُخرى. إننا نواجه نوعًا جديدًا من الـصعوبة. فلـدينا صورتان متعارضتان للواقعية، لا يُمكن لأي منهما أن تُفسر بـشكل كامـل ظـواهر الضوء، ولكن بإمكانهما ذلك معًا". (المترجمان) انظر:

Albert Einstein, Leopold Infeld, The Evolution of Physics, From Early Concepts to Relativity and Quanta, Simon & Schuster, 1938, p.263.

مكتبة الفكر الجديد

ثمة الكثير من الكتب التي تناولت تاريخ فيزياء الجُسيمات، وتاريخ فيزياء الكم وأساسها النظري، وتفسير ميكانيكا الكم أو نظرية مجال الكم، ومسألة ما إذا كان هناك كيانات دون ذرية لها وجود فعلي أم لا. إلا أنه لم يُجر بحث نسقي يتناول الصلات بين هذه المواضيع. يسعى هذا الكتاب لردم هذه الفجوة من خلال إلقاء الضوء على الأفكار المُشار إليها آنفًا واحدة تلو الأخرى.

يتناول الفصلان الأول والثاني الأسئلة الفلسفية حول المبدأ. فيما تقدم الفصول الثالث والرابع والخامس بحثًا مفصلاً لطرق القياس الخاصة بفيزياء الجسيمات والأساس الإمبيريقي للمفاهيم الحالية للجُسيم. فيما يُفصل الفصلان السادس والسابع التحولات في المعنى التي تعرض لها مفهوم الجُسيم، من اكتشاف الإلكترون وحتى الكشف عن الكوارك الأعلى، من كمات الضوء عند أينشتين إلى موجات المادة عند برولي وحتى أحدث الطرق لإعداد موجات ميكانيكا الكم والكشف عن جزيئات ميكانيكا الكم. ونستهل كل فصل بعرض للمحتويات التفصيلية. وستكون الموضوعات الرئيسة على النحو التالي بيانه.

يسعى الفصل الأول إلى إلقاء ضوء جديد على السجال الفلسفي حول "الواقعية العلمية" Scientific Realism، أي على أسئلة حول ما إذا كانت النظريات الفيزيائية تهدف إلى التوصل إلى الحقيقة Truth، وما إذا كانت ما تفترض وجوده من قوى ومجالات وجُسيمات هي بالفعل ما يتكون منه هذا العالم. وينتهي الفصل بدعوى لواقعية وسطية بشأن الأحداث العارضة التي يتم قياسها في تجارب الفيزياء والقيم الفعلية للكميات الفيزيائية المنسوبة إليها. هذه النسخة من الواقعية يتم ربطها بوجهة النظر الذاهبة إلى أن الكميات

مكتبة الفكر الجديد

الفيزيائية تُقابل خواص طبيعية. إنها أضعف من الواقعية الكلاسيكية (أي الزعم بأن الأشياء الميكروسكوبية كاملة النمو تحمل كل الخصائص الفيزيائية التي يمكن قياسها)، ولكنها أقوى من التجريبية(*) والأداتية(**) (أي الزعم بأنه لا وجود لأشياء بخلاف الظواهر التجريبية، والأدوات التجريبية، واستخدام النظريات الفيزيائية لأغراض تقنية).

ويبحث الفصل الثاني السمات البنائية للفيزياء الحديثة. يهدف المنهج التجريبي إلى توسيع مدى فهمنا للواقعية الفيزيائية فيما وراء حدود التجربة

(*) التجريبية (الأمبيريقية): **Empricism** هي نظرية في المعرفة، تقول: إن كل معرفتنا بالواقع مصدرها الحواس. وإن كل معارفنا تكون على هيئة معطيات حسية مباشرة نقوم بالتأليف بينها على هيئة قضايا. والتجريبية كنظرية في المعرفة تقف مقابل المعرفة العقلية والحدسية. ولذلك ترفض القول بالأفكار الفطرية، كما ترفض الزعم بوجود كائنات مجاوزة للخبرة الحسية. وبالتالي فالتجريبية تُنكر تمامًا قدرة العقل على اكتشاف حقائق الواقع بشكل مستقل عن الخبرة الحسية. وعلى العكس من ذلك، تؤكد التجريبية على أن قضايا الواقع بعدية **a posteriori** وأنها لا تتصف باليقين المُطلق. انظر: بدوي عبد الفتاح، فلسفة العلوم، دار قباء ٢٠٠١، ص٦٢. (المترجمان)

(**) تقوم الأداتية **Instrumentalism** بالنظر إلى النظرية العلمية باعتبارها أداة لإنتاج التنبؤات والتقنيات الجديدة للتحكم بالظاهرة موضوع البحث. ولكن دون تأويلها حرفيًا كأدوات للصدق والكذب. تتلافى الأداتية صعوبة تبرير الثقة في النظرية العلمية؛ نظرًا إلى أنها تنصب على حقنا في اعتبار النظرية العلمية أداة ناجحة وفعالة وليست نظرية صادقة. والمثال المفضل لأنصار هذا الاتجاه ازدواجية الموجة-الجسيم في ميكانيكا الكم؛ فبدلاً من الدخول في نقاش نظري توفيقي، يتم اعتماد كل منهما كأداة في المجال الخاص بها. **Oxford Dictionary of Philosophy, Oxford University Press, 2nd Edition 2008** (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

الحسية. مع شرح كيف تم تحديد مقاييس الكميات الفيزيائية ونوعية ما تتضمنه التجارب في الفيزياء الحديثة من الأمثلات الذهنية. ومن أجل شرح لماذا يكون لدى الفيزيائيين أسباب جيدة لتبني رؤية سخية إلى حد بعيد للواقعية الإمبيريقية؛ تتم مناقشة العديد من الحجج البناءة في مقابل الواقعية العلمية والمفهوم التعميمي للملاحظة. وعلى وجه الخصوص يتم تناول سؤال إدينجتون التحريضي حول ما إذا كانت كيانات الفيزياء قد تم اختلاقها أم اكتشافها، مع اقتراح عمل تمييز بين ملاحظة الكيانات من جهة وقياس الخصائص الفيزيائية من جهة أخرى.

يُقدم الفصل الثالث مفهومًا حدسيًّا ميريولوجيًّا(*) وعليًّا Causal للجُسيم: وهو أن الجُسيمات هي الأجزاء المكونة للمادة والضوء كما أنها العلة في الآثار الموضعية التي تكتشفها مجسات الجُسيمات. إن الكشف عن جُسيم ما هو إلا قياس للموضع. إنه يتطلب كميات محددة من الخصائص الديناميكية للمادة أو الضوء من أجل تعيينه في تجربة ما. ووفقًا لهذا المعيار، فقد احتاج الكشف عن الإلكترون والفوتون إلى المزيد من الوقت بأكثر مما تزعم الروايات المعتادة لفيزياء الجُسيمات. وبعد إقامة الدليل على ذلك، يتم عرض كيف تخلق قياسات الموضع مسارات الجُسيم، فيما تصنع مسارات الجُسيم أحداثًا مبعثرة، وينتُج عن هذه الأخيرة رنينًا، وعبر ذلك يتم التوغل أكثر فأكثر في نظريات الأساس التجريبي لفيزياء الجُسيمات. وهنا يُصبح التمييز بين الأساس النظري الآمن والنظريات الخاضعة للاختبار حاسمًا. لقد

(*) منطق العلاقات بين الجزء والكل، ويُعد عالم المنطق والفيلسوف البولندي وأحد مؤسسي مدرسة وارسو للمنطق ليسنيفسكي **Lesniewski** رائدًا لهذا المبحث. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

حدثت التغيرات بمرور الوقت وباكتشاف البوزيترون ومشكلات تعريف الجُسيم كما ظهرت في أربعينيات القرن العشرين. وعلى الرغم من ذلك فإن الجُسيمات التي تمت مناقشتها حتى الآن كانت وفقًا لمفاهيم الجُسيم الميريولوجية والعلية مُكتشفة بالفعل وليست مُصنعة.

يتناول الفصل الرابع بالفحص النماذج الكائنة خلف تجارب التشتت عند الطاقات العالية التي تسبر أغوار بنية الذرة. ثمة سلسلة من نماذج عمليات التشتت دون الذرية، من تشتت رذرفورد الكلاسيكي وحتى قياس توزيعات كميات الحركة للكواركات الناتجة من التشتت غير المرن العميق للنيوكليونات مع الليبتونات. ومع ذلك فإن نظرية مجال ميكانيكا الكم الواقفة خلف نموذج الكوارك لا تشير إلى مكونات للمادة فيما دون الذرة بأي معنى واضح، وسلسلة النماذج المذكورة آنفًا تربط بين اكتشاف رذرفورد لنواة الذرة ونموذج كوارك–بارتون للنوية. والارتباط هنا بدلالة التركيب شبه النقطي الملاحظ عند مدى الطاقة المعطى. وقد تحقق بعض التقابل بين النماذج الكمية لميكانيكا الكم للتشتت والنموذج الكلاسيكي للتشتت عند مركز تشتت مُعرف جيدًا. ويؤسس هذا التقابل وحده (وهو ما يمكن فهمه في إطار مبدأ بور للتناظر) مرجعًا لنموذج الكوارك للبنيات دون الذرية. ورغم ذلك فثمة حدود للمجاز القائل بالنظر داخل الذرة عبر مستكشف للجُسيمات.

يبحث الفصل الخامس نظرية القياس غير المتجانس لفيزياء الجُسيمات. ومع ذلك فإنها مؤسسة على قوانين غير نسبوية ونسبوية، كلاسيكية وكمية (والتي تم النظر إليها باعتبارها قائمة على مفاهيم لا مقياسية من قبل توماس كون وتابعيه[1]، إنها تعبر عن وحدة خفية في الفيزياء. إن مقاييس الكميات

---

(1) **Kuhn 1962, 1970.**

مكتبة الفكر الجديد

الفيزيائية (أي الطول والزمن والكتلة) تتدرج في البناء من الكواركات إلى الكون كله. إن طرق القياس لفيزياء الجُسيمات تحمل حشوًا زائدًا مما يتيح إمكانية الفحص متعدد المصادر من تلاحم هذه البنية. وفي النهاية ثمة العديد من مبادئ التوحيد Unifying Principles التي تربط بين مجال فيزياء الكم والفيزياء الكلاسيكية، ولعل أكثرها أهمية هو مبدأ التناظر المُعمم بالمعنى الذي طرحه بور، التماثلات، واللا تباينات، وقوانين البقاء في الفيزياء، وافتراض أنه يحدث عدم انسجام في حالات لميكانيكا الكم في البيئة الماكروسكوبية (العيانية). كل هذه المبادئ تدعم تحليل المعطيات لمسارات الجُسيم على أساس قوانين القياس الكلاسيكية بالإضافة إلى تصحيحات ميكانيكا الكم وتأسيس المقاييس.

يبحث الفصل السادس خصائص الجُسيمات الكلاسيكية ومصيرها في نظرية ميكانيكا الكم. هناك مفاهيم للجُسيم بعدد النظريات الفيزيائية وربما أكثر عددًا منها. بدأت النقلات في المعنى مع ميكانيكا الكم وفرضية ضوء الكم. وقد أدى ذلك إلى ظهور مفهوم إجرائي متواضع للجُسيم، تكون الجُسيمات وفقًا له مجموعات من الخصائص الديناميكية التي يمكن أن تتمركز بشكل مستقل في مجس للجُسيمات. لقد أعطى المجال الكمي، وتعريف جماعة ويجنر النظري للجُسيم، والجسيمات الافتراضية لنظرية المجال الكمي، وأشباه الجُسيمات لفيزياء الحالات الصلبة، ونموذج كوارك-بارتون التكويني للمادة المزيد من التحولات في المعنى والمزيد من إضعاف المفهوم الأصلي للجُسيم. وما يتبقى هو المفهوم الإجرائي للجُسيم من ناحية، وبعض سمات الجُسيم الإضافية من قبيل السيمترية، وقوانين البقاء، وقواعد الجمع للخصائص الديناميكية للأجزاء المكونة للمادة من ناحية أُخرى. وهذه

مكتبة الفكر الجديد

السمات حين تؤخذ معًا تتفق كثيرًا أو قليلاً مع سمات الجُسيم الحدسية التي نناقشها في الفقرة (٣-١)، ولكن مع تقييد حاسم: إن المفهوم العلي للجُسيم ليس في الواقع مدعومًا من قبل نظريات الكم الحالية. إن الجُسيمات بالمعنى الإجرائي هي بالأحرى آثار موضعية وليست أسبابًا، على حين تكون أسباب هذه الآثار الموضعية ليست موضعية.

يناقش الفصل السابع السمة العامة الشائعة لكل الجُسيمات الكمية، أعني ازدواجية الموجة-الجُسيم. ومن أجل شرح هذا المفهوم، يتم اعتماد مقاربة تاريخية. يمكن العودة بجذور ازدواجية الموجة-الجُسيم إلى موجات المادة لدى برولي وعلاقة أينشتين-برولي، وموجات الاحتمال لدى بورن، ومحاضرة كومو لبور، وكتاب هايزنبرج الصادر عام ١٩٣٠ عن نظرية الكم. للأسف هذه أربعة تفسيرات مختلفة لازدواجية الموجة-الجُسيم. تتعايش اليوم نظرة برجماتية لتحضير الموجات واكتشاف الجُسيمات، ونقاش مربك حول مبدأ بور للتتام وعلاقات عدم اليقين عند هايزنبرج، وتفسير تعميمي للخصائص الفيزيائية غير الحادة مع علاقات تعميمية مقابلة لعدم اليقين لدى هايزنبرج-روبرتسون، تتعايش معًا جنبًا إلى جنب. ومن أجل توضيح هذه المفاهيم تتم مناقشة العديد من التجارب حول الجديد في بصريات الكم وتفسيرها. وبالتوافق مع نتائج الفصل السابع، توضح هذه التجارب أنه لم يعد بالإمكان الدفاع عن مفهوم علي متفرد للجُسيم؛ نظرًا لأن تفسيره يحتاج إلى الاستعانة بالكثير من المفاهيم العلية.

يُقدم الفصل الثامن تلخيصًا للمُحصلات الفلسفية حول الحقيقة دون الذرية. وعلى خلاف المواقف التأسيسية والتجريبية وما يتصل بها من وجهات نظر أداتية، أذهب إلى أن الجُسيمات دون الذرية والعمليات الكمية

مكتبة الفكر الجديد

تنتمي إلى الواقعية التجريبية. إن المادة تتكون من أجزاء مكونة دون ذرية؛ والمفهوم الميريولوجي للجُسيم يتم تدعيمه إمبيريقيًّا من خلال مجموع قواعد الكتلة، والشحنة، وغيرها من الخواص الديناميكية للجُسيمات دون الذرية. وهو ما يرقى إلى واقعية الكيان. ومع ذلك، فإن الكيانات المناظرة ليست أشياءً بالمعنى الكلاسيكي ولا جواهر بالمعنى الميتافيزيقي. وعلى وجه الخصوص، فإن المفهوم العلي للجُسيم يتعارض مع نظرية ميكانيكا الكم. فالجُسيمات بالمعنى الإجرائي في حالات الكشف عن جُسيم واحد هي آثار موضعية لعمليات كمية غير موضعية. وعلى خلاف الواقعية الميتافيزيقية الكلاسيكية، فإنني أدافع في النهاية عن وجهة النظر القائلة: إن واقعية الجُسيمات دون الذرية والعمليات الكمية ليست واقعية في حد ذاتها. هي بالأحرى علاقاتية. فهي لا توجد إلا بالمقارنة بالبيئة الماكروسكوبية وبأجهزتنا التجريبية. فالكيانات الكمية هي عمليات، وبُنى ديناميكية، وخصائص فيزيائية باقية، وحوادث محتملة في العالم الماكروسكوبي.

يُمثل هذا الكتاب نسخة منقحة وموسعة من كتابي المنشور بالألمانية لأول مرة عام ١٩٩٤، بعنوان: ميتافيزيقا الجُسيمات. وما بدأته كترجمة انتهى به المطاف إلى كتاب جديد. فقد تمت إعادة كتابة كل الفصول كما تم إضافة الكثير من المادة العلمية. أما المناقشة المفصلة لمفاهيم الجُسيم الكمي في الفصل السادس بالإضافة إلى الفصل الختامي عن ازدواجية الموجة-الجُسيم فقد جاءت جديدة تمامًا. تغيرت أيضًا بعض آرائي الفلسفية. وعلى وجه الخصوص فإنني أؤكد في هذا الكتاب السمات البنائية للفيزياء بأكثر مما فعلت في النسخة الألمانية. وهذا الموضوع الكانطي تمت الإشارة إليه أيضًا

مكتبة الفكر الجديد

في العنوان الجانبي للكتاب. وهو ما سوف يظهر من حين لآخر في الفصول القادمة ويؤخذ في الحسبان عند عرض النتائج الختامية العامة للكتاب. وبخصوص تأويل نظرية ميكانيكا الكم، فقد قيدت نفسي مرة ثانية قدر الإمكان عدا جانبًا واحدًا. أرى الآن وظيفة مبدأ تناظر تعميمي للوحدة الدلالية للفيزياء الكلاسيكية وفيزياء ميكانيكا الكم بشكل أكثر وضوحًا مما كان عليه الحال عند كتابتي للنسخة الألمانية من الكتاب. وفقًا لفهمي الحالي، لا تُشير ميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي إلا لأنساق فردية وفقًا للطرق التي تقوم بربط نماذج الكم للمادة والتفاعلات دون الذرية بالنماذج الكلاسيكية للبنية دون الذرية وعمليات التشتت من خلال نماذج شبه كلاسيكية. تقوم كل هذه الروابط على استخدام ضمني لمبدأ التناظر التعميمي بالمعنى الذي قدمه بور (بالإضافة إلى غيره من مبادئ الفيزياء الموحِدة). واليوم مضى عهد إصراري على نظرية كمية للأنساق الفردية. فالنظرية الكمية وحدها هي نظرية احتمالية. وباستثناء قوانين بقاء الطاقة وقواعد الانتقاء غير الاعتيادية، فإنها تنطبق فقط على مستوى المجموع. وفي التعقيب النقدي حول الواقعية دون الذرية (الفصل الثامن) أقوم بمناقشة مسألة كيف تنسجم هذه الوجهة من النظر مع اعتقاد الفيزيائيين الممارسين أنهم يقومون بتحضير الموجات وقياس الجُسيمات على مستوى الأنساق الفردية.

نمت مادة هذا الكتاب على مدى فترة طويلة إلى الحد الذي يجعل من قبيل المستحيل أن أشكر كل الزملاء والأصدقاء الذين قدموا ملاحظات نقدية، وشروحات للمفاهيم المحورية سواء في أثناء الجلسات الودية أو ورش العمل أو المؤتمرات. ويمكنني هنا أن أذكر بعضهم فقط. وعلى وجه الخصوص فإنني ممتنة لما أسداه لي بيتر ميتلشتيت من أفكار ملهمة ومثمرة على مدى

مكتبة الفكر الجديد

عقد من الزمان. كما أود أن أشكر كلاوس بايسبارت، وباتريك جريت، ورينر هيدريش، وهيرنان برنيجه، وإريش رونجه لقراءتهم أجزاء كبيرة من الكتاب ولكثير ما أبدوه من ملاحظات مفيدة. ومن قبيل تحصيل الحاصل أن أقول: إن انتقاداتهم قد ساعدت في تحسين الكتاب، إلا أنهم غير مسؤولين عما فيه من خطأ. ساعدتني فلوريان براون في إعداد قائمة المراجع وفي إتمامها بشكل يتسق إلى حد بعيد مع الهوامش. قامت أنجيلا لاهي من دار سبرينجر بالكثير من الصبر بالمساندة في إخراج هذا الإصدار. تكفل ستيفن ليل بتحسين أسلوبي بالإنجليزية وعمل التعديلات. ختامًا، لم يكن لهذا العمل أن يرى النور إلا برفقة حب وتفهم دام لسنوات طوال من قبل زوجي فريدريش فولدا، وابننا يوهانس فالكينبورج، وأمي إيدل فالكينبورج.

بريجيته فالكينبورج

دورتموند

يناير ٢٠٠٧

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الأول

الواقعية العلمية

تُعتبر الواقعية هي وجهة النظر التي يتبناها معظم الفيزيائيين فيما يخص الكيانات الفيزيائية. وهم يفترضون أنهم يبحثون قوى ومجالات مغناطيسية وجُسيمات دون ذرية حقيقية؛ من قبيل الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات. كما يفترضون مقدمًا أن هذه الكيانات موجودة في الطبيعة، داخل معمل الفيزياء وخارجه على حد سواء. وهي في اعتقادهم العلل الحقيقية ومكونات الظواهر الطبيعية والتجريبية، حتى إن كانت النظرية الفيزيائية تصف هذه الكيانات بلغة رياضية تجريدية. يتبنى الفيزيائيون واقعية لا تقبل الشك بشأن الجُسيمات دون الذرية حين يقومون بالكشف عن مسارات الجُسيمات وتحليلها في تجارب التشتت لفيزياء الطاقة العالية، وحين يفترضون أن هذا الكشف نتيجة للآثار الكهرومغناطيسية على الأجهزة الإلكترونية في تجاربهم.

لم تعُد فيزياء الجُسيمات تبحث في التساؤل عما إذا كانت الجُسيمات دون الذرية توجد أم لا، ولكن أي أنواع الجُسيمات موجود، وما المكونات الأساسية للمادة والقوى. وعلى سبيل المثال لم يكن من الواضح ما بين عامي ١٩٣٢ و ١٩٥٦ ما إذا كانت فرضية النيوترينو لباولي قد تم افتراضها

مكتبة الفكر الجديد

خصيصا من أجل إنقاذ مبدأ بقاء الطاقة في حالة الانحلال الإشعاعي لبيتا[1]، أم ما إذا كان ثمة وجود فعلي للنيوترينو. وفي عام ١٩٥٦ تم تأكيد فرضية النيوترينو عن طريق الانحلال الإشعاعي العكسي لبيتا. وبالمثل لم يكن معظم الفيزيائيين فيما بين عامي ١٩٦٤ و١٩٧٤ يؤمنون بوجود الكواركات. إذ لم يعتقدوا أن ثمة أجزاء مكونة للبروتون والنيوترون لها شحنات كسرية. وفي عام ١٩٧٤ ومع اكتشاف الجُسيم الرنيني J/Ψ ، أصبح المجتمع العلمي لفيزياء الجُسيمات مقتنعًا أخيرًا بوجود الكواركات[2](*). واليوم يقوم فيزيائيو الجسيمات ببحث التساؤل حول ما إذا كان ثمة نظراء على درجة من التماثل الفائق مع جُسيمات النموذج المعياري الحالي لفيزياء الجُسيمات كما يبحثون عن تأثيرات الجُسيمات ذات الكتلة ضعيفة التفاعل (WIMPs) مع الأشعة الكونية ذات الطاقة العالية.

---

(1) **Pais 1986, 138 and 569.**
(2) **Pais 1986, 605-606.**

وللمزيد حول تاريخ ما يُدعى بثورة نوفمبر انظر: **Pickering 1984 and Riordan 1987.**

(*) الكواركات: هي إحدى الأسر الرئيسة للجسيمات الأولية، وهي ذات تفاعلات قوية. ويسمح الميكانيك اللوني (الكروموديناميك) الكمي **quantum chromodynamics** بوجود نحو ١٨ نوعًا من هذه الكواركات؛ منها: الكواركات العلوية، والسفلية، والمألوفة والغريبة، والذروية (القمة)، والقعرية (القاع). ويرمز إليها على التوالي بالحروف بـ: **u**، **d**، **c**، **t**، **b** و **s**. وأول من أطلق هذا الاسم على الجسيمات، هو عالم الفيزياء النظرية "جيل ــ مان". ويقال: إنه استقاها من رواية الكاتب الأيرلندي جيمس جويس، الذي كان قد استخدمها ككلمة سرٌ دون معنى. راجع في ذلك: سام تريمان، من الذرة إلى الكوارك، نحو ثقافة علمية متقدمة لمواكبة علوم العصر وفلسفاتها، ترجمة: د. أحمد فؤاد باشا، عالم المعرفة ٢٠٠٦. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

لا يؤمن الكثير من فلاسفة العلم بهذا النوع من الواقعية. وهم يسمونها واقعية علمية في مقابل السجال الفلسفي القديم حول واقعية العالم الخارجي والتي كانت محل شك في تأملات ديكارت ومثالية بيركلي على سبيل المثال. لا ينتاب فلاسفة العلم التجريبيين والأداتيين الشك في واقعية العالم الخارجي. وتنحصر شكوكهم في وجود الأشياء الفيزيائية التي لا يمكن أن تكون موضوعًا للإدراك الحسي المباشر. وهم يشكون على وجه الخصوص في وجود الجُسيمات دون الذرية. وتتمثل أحدث السجالات الفلسفية بشأن الواقعية العلمية في نمطين من الاعتقادات: الاعتقاد في وجود كيانات فيزيائية غير قابلة للملاحظة (واقعية الكيانات)، والاعتقاد في وجود بُنى في العالم قد تناظرها بشكل تقريبي قوانين الفيزياء الرياضية (الواقعية البنيوية). يدافع الواقعي المتحمس عن وجود القوى، المجالات والجُسيمات دون الذرية وعن القوانين الحقيقية للطبيعة، على حين يهاجم أعداء الواقعية كل ذلك[1]. من الجلي أن معسكر أعداء الواقعية لا يوجه النقد لصورة النظرية في الفيزياء بوصفها كذلك. هم بالأحرى يوجهون انتقاداتهم إلى التأويل الساذج لتلك النتائج بلغة الحياة اليومية، كما لو كانت القوى والجُسيمات دون الذرية واضحة ومتجسدة كما هو الحال مع الطاولات والكراسي. وفي واقع الأمر،

---

(١) انظر: **Leplin 1984, van Fraassen 1980, Churchland and Hooker 1985, Psillos 1999**

إن الواقعية البنائية (**Worrall 1989**) هي نسخة جديدة وأكثر اعتدالاً من الاعتقاد القديم في وجود قوانين صادقة للطبيعة؛ انظر: **Psillos 1999, 146-161**، وأيضًا ما اقتبسناه في هذا الكتاب.

مكتبة الفكر الجديد

فبخصوص مادة بحث نظرية الكم فإن الواقعية الساذجة المستندة إلى سياق الحياة اليومية تؤدي إلى سوء فهم فج.

وعلى الرغم من ذلك، فإنه فى السجال الأخير حول الواقعية العلمية تظهر المشكلات الفلسفية القديمة متخفية في ثياب جديدة. ففي سياق فيزياء القرن العشرين ثارت تساؤلات جديدة سرعان ما أصبحت متداخلة مع موضوعات فلسفية تقليدية عويصة. والجذور الثلاثة الأكثر أهمية لهذا السجال هي كما يلي:

(١) إن السجال حول وجهات النظر الأداتية والواقعية بشأن النظريات الفيزيائية هو جد قديم. تعود جذور المعسكر المعادي للواقعية إلى البدايات الأولى للعلم الحديث؛ أعني مقدمة أوسياندر لكتاب كوبرنيكوس "عن دورات الأجسام السماوية". أوصى أوسياندر بعدم الفهم الحرفي لنظرية كوبرنيكوس واعتبارها مجرد أداة مفيدة لصياغة النظرية عن طريق توصيف رياضي لا يدعي لنفسه الحقيقة. وجد جاليليو نفسه مضطرًا للدفاع عن فيزيائه الجديدة ورؤية كوبرنيكوس للعالم في مواجهة الأداتية والأرسطية في القرن السابع عشر. وبعد ثلاثة قرون، وقفت تجريبية ماخ وأداتية دويم في مقابل ذرية بولتزمان وواقعية بلانك. ثم غذت هذا السجال أطروحة كون عن اللا مقياسية(*)، مفسحة المجال لظهور البنائية الاجتماعية وما

(*) يُعد توماس كون **T. Kuhn** (١٩٢٢-١٩٩٦) من أهم فلاسفة العلم في النصف الثاني من القرن العشرين على الإطلاق، كما يُعد كتابه الشهير "بنية الثورات العلمية" أيقونة من أيقونات فلسفة العلم؛ حيث صارت مصطلحاته بما لها من دلالات مميزة كلمات دالة ذات معانٍ راسخة وذائعة في كتابات فلسفة العلم؛ ومن أهم هذه المصطلحات=

مكتبة الفكر الجديد

يتصل بها من رؤى ما بعد حداثية للعلم. ومن الواضح أن هذه السجالات القديمة والجديدة تتمحور حول ما إذا كانت الرياضيات والفيزياء بوسعها أن تأتينا بخبر عن الطبيعة.

(٢) بدأت التجريبية المنطقية رحلة البحث عن معايير لتحديد التخوم بين المعرفة التجريبية والميتافيزيقا. إن البحث عن مثل هذه المعايير أمر متأصل في الخلاف التقليدي بين التجريبية والعقلانية: إن الأبستمولوجيات التجريبية للوك وهيوم اتخذت من الإدراك الحسي محكًّا لنظرياتنا، بينما قد يكون الإدراك الحسي مضللاً وفقًا للاتجاهات العقلانية لدى ديكارت وليبنتز وتتمع الرياضيات وحدها بالمصداقية. تعامل الخلاف التقليدي مع التساؤل الأبستمولوجي عن كيفية اكتسابنا للمعرفة الموثوق بها عن العالم الخارجي أو عن الحقيقة الموضوعية.

=النموذج الإرشادي **Paradigm**، واللا مقياسية **Incommensurability**. يُشير المصطلح الأول إلى النظرية العامة التي يلتزم بها المجتمع العلمي في مرحلة ما، وبلوغ النظرية مرتبة النموذج الإرشادي يعني أنها تحدد مدلول الوقائع التجريبية، وتطرح معايير الاختبار والتقويم والتنقيح، والتعديل إذا لزم الأمر. وطالما أن العلم يتطور في إطار النموذج الإرشادي نفسه تُسمى هذه المرحلة مرحلة العلم العادي **Normal Science**. ولكن إذا ظهرت ظاهرة تنتهك إطار هذا النموذج الإرشادي وتفرض تغييره فإننا ننتقل إلى مرحلة الثورة **Revolution** في العلم. وتعني هذه الثورة أن تغييرًا قد طرأ في النظرة إلى العالم، وينتج عن ذلك ما يسميه كون باللا مقياسية أي عدم قابلية النظريات العلمية للحكم عليها بالمقاييس نفسها، فلكل نظرية إطارها ومفاهيمها. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

ومع ذلك، فبخصوص الواقعية العلمية، يتعارض كلا التقليدين الأبستمولوجيين التقليديين مع المنهج التجريبي للفيزياء الحديثة ومع بنية النظريات الفيزيائية على وجه الخصوص.

(٣) يتعامل السجال حول تأويلات نظرية الكم مع حقيقة أن قوانين فيزياء ما دون الذرة تتصادم مع الرؤية الكلاسيكية ذات البنية كاملة الحتمية للواقعية. وهنا يثور التساؤل: هل تتعامل نظرية الكم بالفعل مع واقعية موضوعية دون ذرية، أم أنها الوقود المحرك للتجريبية والأداتية؟ تتعارض الآثار الكمية النمطية غير الموضعية مع التفسير الكلاسيكي للواقعية الفيزيائية، والذي يمتد بجذوره حقًا في الميتافيزيقا التقليدية. إن النقاش حول تأويلات نظرية الكم يرتبط بشكل جوهري بالخلافات التقليدية حول التجريبية أو العقلانية (بالترتيب الأداتية أو الواقعية)، على الرغم من أن موضوعاتهم في الوقت الراهن غالبًا ما تكون منفصلة عن بعضها البعض كلما توغلنا أكثر في التخصص الفلسفي.

تتدرج حاليًا كل من هذه الأنواع الثلاثة من المشكلات في فلسفة العلوم في فئة مختلفة عن الأخرى، على الرغم من أنهم يرتبطون فعليًا ببعضهم البعض. ومن أجل تقصي العلاقات بينهم، سوف أعطي ملخصًا للسجال حول الواقعية العلمية وهو ما سوف يوسع بشكل عمدي من نطاق هذا البحث. سأحاول أن أفض الاشتباك بشأن موضوع السجال بداية من الزعم بوجود عدم انسجام بين الفيزياء والفلسفة. أبستمولوجيًا، لا تستطيع التجريبية مجاراة مناهج فيزياء القرن العشرين (فقرة ١-١، ١-٣)، بينما على المستوى الأنطولوجي، لا تتمكن الميتافيزيقا التقليدية من مواكبة بنية نظرية الكم (فقرة ١-٤، ١-٦). قام مؤسسو

مكتبة الفكر الجديد

التجريبية المنطقية بتجاهل القضية الأولى، المشكلة التقليدية في سعيهم نحو التمييز بين العلم التجريبي والميتافيزيقا. ومع ذلك فقد غض الكثير من المدافعين عن الواقعية العلمية الطرف عن القضية الثانية، المشكلة الجديدة في دفاعهم عن واقعية ما دون الذرة.

اعتمد كارناب ورايشنباخ على نظريات النسبية والكم حينما وجهوا انتقاداتهم لكل المفاهيم القبلية بوصفها ميتافيزيقية. ودافعوا عن نظرية للتحقق في المعنى واقترحوا إعادة تأسيس المحتوى التجريبي للنظريات الفيزيائية لجعلها خالية من أي افتراضات ميتافيزيقية. إلا أنهم في سعيهم لذلك تجاهلوا حقيقة أن المناهج التجريبية للفيزياء منذ تجربة جاليليو وحتى الآن قد تشعبت وغيرت بشكل دراماتيكي من فهمنا للمعرفة التجريبية؛ حيث ينحاز استخدام أجهزة الملاحظة والقياس إلى فهم حر وتعميمي للدليل في الملاحظة والتجربة فما يعول عليه في الفيزياء هو نتائج القياسات وليس المعطيات الحسية. من هنا أثارت التجريبية المنطقية الأسئلة التالية. ما المعرفة التجريبية من وجهة نظر مناهج الفيزياء الحديثة؟ وأين تنتهي حدود العلم التجريبي لتبدأ الميتافيزيقا، وفقًا لهذا النمط من المعرفة؟ ونظرًا إلى أن ما ثار مؤخرًا من سجال حول الواقعية العلمية نتيجة لهذه الأسئلة الأبستمولوجية، فهو إرث الوضعية المنطقية في القرن العشرين (فقرة ١-١). وفي واقع الأمر فإن المواقع الأساسية الحالية في هذا السجال هي نتيجة لترسيم الحدود بين ما هو تجريبي في مقابل ما هو ميتافيزيقي بأشكال مختلفة. تعتبر الواقعية الشاملة – الساذجة – أن كل البُنى الرياضية للنظريات الفيزيائية لها نظير في الواقع. ولا تؤمن البنائية بأي شيء مؤسس على الأدوات الرياضية والأجهزة التقنية.

مكتبة الفكر الجديد

وفيما بين الموقفين تتعدد مواقف الواقعية النقدية، والتجريبية المعتدلة، والتجريبية الصريحة (فقرة ١-٢). يناضل السجال من أجل التوصل لمعايير أبستمولوجية تساعد في تحديد أي من مفاهيم النظريات الفيزيائية تصف شيئًا واقعيًّا، وأيها ليس كذلك. من الممكن أن نجد معيارًا مستقلاً لما نعرف أنه حقيقي، معيار لا يعتمد على نظرياتنا الفيزيائية ولا على معتقداتنا الميتافيزيقية؟ تتم تسوية هذه المسألة في حدود الحوادث الفيزيائية التي تحدث بالفعل وفق أجهزة القياس. وتُعد المصادفة هنا السمة المميزة أبستمولوجيًّا (فقرة ١-٣).

وعند هذه النقطة يأتي دور المشكلات الأنطولوجية (أو الميتافيزيقية) التي أثارتها نظرية الكم. إن الحاجة إلى نظرية الكم من أجل تفسير الحوادث العارضة ونتائج القياسات لفيزياء ما دون الذرة حقيقة أولية. إلا أن نظرية الكم تتعارض مع ذلك النوع من الواقعية الذي طالما تم الدفاع عنه لقرون؛ أعني الواقعية الكلاسيكية. فالمعنى التقليدي للواقعية يتحدد من خلال أشياء فيزيائية لها خصائص محددة كليًّا وقوانين حتمية للطبيعة. والميتافيزيقا الداعمة هنا هي فكرة أن الأشياء الفيزيائية هي أشياء أشبه بالجواهر الأرسطية، أو الأفراد، واعتبار القوى العلية كخصائص ديناميكية. تخبرنا نظرية الكم مع ذلك أن الواقعية الفيزيائية ليست مؤلفة من جواهر مثل هذه (فقرة ١-٤). ونوع الواقعية الذي يوضع تحت التمحيص هنا هو الميتافيزيقا الكامنة خلف الفيزياء الكلاسيكية. ومن أجل رؤية ما يتبقى منها من جانب نظرية الكم، يجب فحص الافتراضات الميتافيزيقية وغير التجريبية في الفيزياء. لقد اتضح أن بعضًا منها لا يمكن الاستغناء عنه بالنسبة إلى الفيزياء، حتى إن بدا أن نظرية الكم على

مكتبة الفكر الجديد

خلاف معها (فقرة ١-٥). ختامًا يتم اقتراح واقعية الخصائص الفيزيائية المؤسسة على مقاييس الكميات الفيزيائية. إنها قوية بما يكفي من أجل دعم المناهج الرياضية والتجريبية للفيزياء، ولكنها أضعف من أن تكون متوافقة مع بنية نظرية الكم (فقرة ١-٦).

١-١ المعرفة التجريبية والميتافيزيقا

حين انتهت محاولات إكمال الفيزياء الكلاسيكية إلى طريق مسدود حوالي عام ١٩٠٠، بدأ السجال التقليدي حول العلم الجاليلي في التشابك مع التحديات الجديدة للواقعية العلمية. قدم ماخ تحليلاً ممتازًا للميكانيكا الكلاسيكية، وقام دوهيم بتفسير هدف النظريات الفيزيائية[١] وبنيتها؛ ودافعا عن الموقف التجريبي والموقف الأداتي على التوالي، فلا وجود للذرات أو القوى وفقًا لماخ. وهذه الكيانات الافتراضية وفقًا لوجهة نظره، يتم افتراض وجودها فقط من أجل وصف الظاهرة بشكل إيجازي ومن الأفضل استبدال توصيف أكثر طبيعانية بهم[٢]. وبناء على الأبحاث المفصلة للطريقة التي ترتبط بها الكميات الفيزيائية بالظواهر التجريبية، فقد قدم دوهيم تفسيرًا أداتيًّا مؤثرًا للفيزياء الكلاسيكية. إلا أن كلا الموقفين كانا متعارضين مع ماكسويل والنظرية الحركية لبولتزمان للغازات وأسسها الذرية على التوالي. ومع ذلك، فحين أصاب بولتزمان اليأس بدأت إمكانية إخضاع الذرات ومكوناتها للملاحظات والقياسات التجريبية غير المباشرة في معامل طومسون

---

(1) **Mach 1883, Duhem 1906.**
(2) **Mach 1883, 466.**

مكتبة الفكر الجديد

ورذرفورد. وفي عام ١٩٠٣، تمت ملاحظة وميض الضوء الناتج عن أشعة سيجما بشكل مباشر للمرة الأولى. كما دخل البحث في الذرة، والنظرية الحركية للغازات، والأسس الإحصائية للديناميكا الحرارية مرحلة صياغة المشكلات الفيزيائية والتي أدت في النهاية إلى قانون بلانك لإشعاع الجسم المعتم وفرضية أينشتين لكمات الضوء. كانت تجارب طومسون ورذرفورد للجُسيمات عالية الشحنة لا تزال تُقدم كلية بالمصطلحات الكلاسيكية، إلا أن التوصيفات النظرية لبلانك وأينشتين لتفاعل المادة والإشعاع كانت مختلفة. لقد أسدلا الستار على الفيزياء الكلاسيكية، التي لم يكن بلانك ولا أينشتين ليتقبلاها.

أضحى كارناب ورايشنباخ أبعد الفلاسفة تأثيرًا في فيزياء القرن العشرين. فقد قاما تحت تأثير الإعجاب بالثورات العلمية التي أدت إلى نظرية النسبية ونظرية ميكانيكا الكم إلى عمل قطيعة مع الكانطية الجديدة neo-Kantianism(*) والالتجاء إلى رؤية ماخ التجريبية للواقع. قامت دائرة فيينا للوضعية المنطقية بتبني رؤية ماخ في ازدراء الميتافيزيقا وبدأت في السعي خلف معايير للتمييز بين المعرفة التجريبية والميتافيزيقا. وهو المسعى الذي سيطر على أبستمولوجيا الفيزياء الحديثة طوال العقود التالية. وجهت فلسفة العلم تركيزها إلى إعادة تأسيس المحتوى التجريبي للنظريات الفيزيائية. إلا أن هذا السعي خلف معايير للتمييز من هذا القبيل قد باء بالفشل. وتعين على التجريبية أن تواجه أطروحة دوهيم–كواين التي تذهب

(*) مصطلح عام يُشير إلى أي مذهب في الميتافيزيقا أو الأخلاق يستلهم فلسفة كانط، وعادة ما يُقصد به التيارات الفلسفية التي ظهرت في ألمانيا ما بين عامي ١٨٧٠ و١٩٢٠ كرد فعل على الرؤية المادية للطبيعة والرؤية التطورية للأخلاق. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

إلى القول بعدم جواز الفصل بين المكونات التجريبية للنظريات الفيزيائيـــة، بالإضافة إلى التغير في نظرتنا للعالم كنتيجة للثورات العلمية الكبرى التـــي أشار إليها كون[1]. ووفقًا لهذه الرؤى، تحتم على التجريبية أن تواجه مشكلة أن العلم التجريبي غير قابل للانسلاخ التام عن الميتافيزيقا على النحو الـــذي تفترضه. ظهر السجال الأخير حول الواقعية العلمية في وقت ظهور كتـــاب كون الشهير بنية الثورات العلمية. وعلى نحو ما سوف نرى، فقد كان فـــي الواقع سجالاً حول الجوانب الميتافيزيقية للعلم الحديث.

بالنسبة إلى فلسفة العلم التجريبية في القرن العشرين، فإن الميتافيزيقـــا نسق من القضايا القبلية[*] a priori عن العالم. ومن وجهة النظر التجريبيـــة، فإن الميتافيزيقا هي نقيض التجريبية. وتُعد رؤية كانط للميتافيزيقا كتفـــسير للعالم غير رياضي وغير تجريبي دعامة هذا الفهم للميتافيزيقـــا[2]. ووفقًـــا لخلفية كارناب ورايشنباخ الكانطية الحديثة، فإن ذلك يمتد بجذوره في الفلسفة التقليدية، خاصة في معارضة التجريبية والعقلانية. وعلى الرغم من اختلافها مع آراء كانط عن الميتافيزيقا[3]، فإنها تسير على خطى ماخ في ازدرائها.

---

(1) **Quine 1951; Kuhn 1962, 1970.** وانظر أيضًا الهوامش التالية

(*) التمييز بين القبلي **a priori**، والبعدي **a posteriori** يلح بنا في مروج الإبستمولوجيا – نظرية المعرفة – الخصبة؛ فالقبلي هو ما لا نتطلب معرفته خبرة على حين يشترط البعدي وجود الخبرة. لعله من الواضح أن قضية "كل المثلثات لها ثلاثة أضلاع" قضية قبلية، إلا أن الفلسفة التجريبية عمومًا بتأكيدها على أهمية الخبرة في وجود أي معرفة ستدفع بأن حتى هذا النوع من القضايا لا يُمكن أن يخلو من مُدخلات التجربة. (المترجمان)

(٢) انظر: **Kant 1781/87, A 837-850/B 865-878.**

(٣) انظر: **Falkenburg 2004**

مكتبة الفكر الجديد

ما زالت الاعتراضات الحديثة الموجهة لوجود الكيانات النظرية وافتراض وجود قوانين صادقة للطبيعة تدين بوجودها لهذا الأصل. وهي مرتبطة بالاعتراضات المنطقية والأبستمولوجية المعرفية التقليدية ضد الكيانات غير القابلة للملاحظة. تشتمل هذه الكيانات غير القابلة للملاحظة على: ذرات جاسيندي أو جاليليو – والتي تعود بجذورها إلى الفلسفة الطبيعية القديمة – وجُسيمات ديكارت الميكانيكية – الشبيهة بالذرات – وفضاء نيوتن المطلق – والذي دافع عنه كلارك في مواجهة ليبنتز – والعلاقة العلية بين الأحداث المنتظمة وفقًا لما يشبه القوانين – والتي ارتاب فيها هيوم – والجوهر بالمعنى الذي قدمته الميتافيزيقا التقليدية، كحامل للخصائص العرضية للموضوعات المادية. ووفقًا لكانط، فإن السجال التقليدي حول هذه الكيانات كان يستهدف المفاهيم الميتافيزيقية. فبحسب كانط، فإن المفاهيم الميتافيزيقية من هذا القبيل تفتقر إلى الحقيقة الموضوعية، أو لا تنطبق على الموضوعات التجريبية في المكان والزمان[1].

تتعامل النظريات الفيزيائية حاليًا مع الذرات وبنيتها الداخلية، ومع القوى، ومع المكان والزمان، والكون. ومن حيث اللغة المستخدمة، فإنها تشير بدورها إلى كيانات أشارت إليها من قبل الفلسفة الطبيعية والكونيات والميتافيزيقا التقليدية. إلا أن الفيزياء الحديثة على النقيض من الميتافيزيقا التقليدية تتمتع بالإمكانيات التجريبية لرصد الإشعاع الكهرومغناطيسي ومجال

---

(١) ... مادامت شروطًا ليست ضرورية لإمكان الخبرة على وجه التحديد، انظر: **Kant 1781/87**. رفضت كل من الكانطية الجديدة والوضعية المنطقية نظرية كانط للمكان والزمان بوصفها صورًا للحدس قبليًا؛ انظر الفصل السابع من: **Falkenburg 2000**

مكتبة الفكر الجديد

الكمات، والمكونات دون الذرية للمادة وللقوى التي تُبقي عليها معًا، والإشعاع الكوني المحيط للكون. تُمكن قوانين النظريات الفيزيائية العلماء من عمل تنبؤات كمية دقيقة حول الظواهر التجريبية والإمبيريقية. انسحبت الأشياء الفيزيائية والأنساق والبنى التي يمكن قياسها من مجال الميتافيزيقا التقليدية حيث توجد موضوعات تند عن الملاحظة يتم التسليم بها دون إثبات أو تفنيد. على حين بقيت الذرات كأجزاء مكونة للمادة في نطاق عالم الميتافيزيقا طالما ظلت الإلكترونات ونواة الذرة تفتقر للدليل التجريبي. تم التسليم بالمكان والزمان المطلقين ككيانات منفصلة مثل خلفيتهم المكانية–الزمانية. وظلت هذه الكيانات في العالم الميتافيزيقي نفسه حتى قدم أينشتين مفهومه الإجرائي عن الآنية ومبادئه عن التكافؤ مما وضع حجر الأساس لظهور النسبية الخاصة والعامة. والكون في مجمله كان خاضعًا لبراهين قبلية مع أو ضد إمكانية العُمر المتناهي للعالم، على حين ترتكز الفيزياء الكونية الحديثة على ملاحظات تجريبية كمحك لنماذج كونية معينة.

إلا أن الأساس التجريبي للفيزياء الحديثة ليس على هيئة إدراك حسي مباشر، على نحو ما سوف تحبذ النزعة التجريبية. إنها ترتكز بدلاً من ذلك على ملاحظات وقياسات تجريبية محملة بالنظرية theory-laden. لذا، فمن منظور الفيزياء الحديثة يفقد التمييز بين المعرفة التجريبية والميتافيزيقا براءته. ومن أجل تأسيس تمييز جديد، ربما تستطيع الاعتبارات الآتية المساعدة. تسربت موضوعات النظريات الفيزيائية من مجال الميتافيزيقا الخاص بالفلسفة الطبيعية التقليدية كنتيجة لسمتين أبستمولوجيتين للفيزياء الحديثة:

مكتبة الفكر الجديد

١- لم يتم النظر قط إلى موضوعات النظريات الفيزيائية بوصفها خارج نطاق الشك أو أنها نهائية[١]. فعلى نقيض النظريات الدوجماطيقية للميتافيزيقا التقليدية، تكون النظريات التجريبية مطروحة للتمحيص. فالتجارب الجديدة قد تكشف عن خصائص غير متوقعة للظاهرة. ولا تتعاظم الشكوك حول عودة الفيزياء إلى أسر الميتافيزيقا إلا حين تنشد الأولى التوصل إلى تفسيرات نهائية. فالبحث عن تفسيرات نهائية يحمل عبئًا ميتافيزيقيًّا ثقيلاً. هنا يثور الشك حول الوقوع في براثن الدوران أو الانتكاس إلى الخلف. فالسعي خلف نظرية فيزيائية نهائية يتبنى متطلبات بعد-نظرية من قبيل استبعاد وجود نظريات منافسة وشطب كل المحددات المحتملة، بما في ذلك الثوابت الأساسية للطبيعة (ثابت الجاذبية ...، سرعة الضوء c، ثابت بلانك ...).

٢- إن مادة بحث النظريات الفيزيائية تُعد تجريبية مادامت اعتمدت مفاهيمها على التجربة. وفي هذا السياق، يُمكن فهم معنى "تجريبي" و"مُعتَمد على التجربة" بالمعنى الضيق أو بالمعنى الواسع؛ حيث تُعتبر محتويات النظرية الفيزيائية الممكن قبولها مؤسسة على الإدراك الحسي والمنطق وحدهما – كما تفترض الوضعية المنطقية، أو على نحو بديل يتم التسليم بأن العلاقة المتبادلة بين النظرية والتجربة تؤسس لمعرفة تجريبية بالمعنى التعميمي، وهو ما يكون على قدم المساواة مع الإدراك الحسي.

---

(١) أى إنها ليست موضوعات غير مشروطة أو تنتمي لعالم النومينا [عالم الشيء في ذاته في مقابل عالم الفينومينا – المترجم] بالمعنى الكانطي، والتي قد ينشأ عنها كونيات ضد النومينا. انظر:

Kant 1781/1787, B 432-596/A 406-567; and Falkenburg 2000, Chap. 5.

مكتبة الفكر الجديد

تفي كل النظريات الفيزيائية الناضجة بهذه المعايير. وعلى وجه الخصوص تتعرض وجهات النظر حول الأجزاء المكونة للمادة للمراجعة من وقت لآخر. إن ذرات الفيزياء الذرية ليست ذرات بالمعنى الحرفي الذي نقابله في الفلسفة الطبيعية القديمة. فهي مكونة من أجزاء ويمكن تقسيمها. تُظهر التجارب أن الذرات تتكون من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات. وتتكون البروتونات والنيوترونات من الكواركات. لا يمكن فصل الكواركات، إلا أنها السبب في عمليات تفتيت البروتونات والنيوترونات. أما مسألة وجود أجزاء مكونة للكوارك (وبأي معنى يمكن أن توجد) فما زالت غير معروفة. والنموذج المعياري الحالي لفيزياء الجُسميات لا يُعد نهائيًّا. وحتى الآن ما زالت كل النظريات الفيزيائية مطروحة للمراجعة. يقترح المعيار أن البحث الحالي عن نظرية نهائية للفيزياء، ولتكن الجاذبية الكمية والفلك الكمي، قد يكون ميتافيزيقيًّا[1]. سوف يوافق الكثير من الفيزيائيين – ولكن بشكل أساسي لأن المحاولات الحالية للتوحيد تنتهك أيضًا المعيار الثاني للتأسيس على التجربة.

ومع ذلك فمن وجهة النظر التجريبية المتزمتة نجد أن المعيار الثاني مثير للمشكلات. سعت التجريبية المنطقية خلف مشروع تأسيس محتويات النظريات الفيزيائية بناء على الإدراك الحسي. إلا أن مشروع كارناب الأصلي كان مقدرًا له أن ينحدر نحو صورة أضعف فأضعف. فقد آل أمر

---

(١) فيما يتعلق بالعناصر الميتافيزيقية للنظريات الفيزيائية الموصوفة في الفقرة (١-٥)، فإنها في واقع الأمر ميتافيزيقية. إنها تعتمد على المبادئ المابعد – نظرية الضرورية لصياغة النظرية في الفيزياء.

مكتبة الفكر الجديد

تحديد معايير واضحة للدلالة التجريبية للمفاهيم النظرية[1] إلى الفشل، ولم يتبق في نهاية الأمر سوى مفهوم تعميمي للخبرة للتمييز بين المواقف التجريبية والميتافيزيقية. لكن اتضح أن هذا بمثابة عيب قاتل للمشروع التجريبي لتقديم معايير للتمييز بين المعرفة التجريبية والميتافيزيقا. فأي مفهوم تعميمي للخبرة ينطوي بالضرورة على مواقف غير تجريبية، والتي تكون بدورها ميتافيزيقية إذا ما نظرنا إليها من وجهة النظر التجريبية. وعبر هذا السبيل ظهر خلف للسجالات الميتافيزيقية التقليدية حول الذرات أو المكان والزمان المطلقين؛ أعني التساؤل حول ما إذا كان ثمة معنى تعميمي مشروع يمكن لنا بمقتضاه أن نحوز معرفة تجريبية عن الذرات والجُزيئات دون الذرية. وعلى حين تتطلب الأسئلة حول وجود الذرات وطبيعة المكان والزمان محتوى تجريبيًّا في إطار الفيزياء، فإنها تظهر في إطار الفلسفة في ثياب جديدة.

إن أية محاولة فلسفية لإلقاء الضوء على التساؤل حول إمكان وجود معرفة عن الذرات تواجه معضلة الخبير. فغير الخبراء تنقصهم معرفة المناهج والمفاهيم التجريبية لدى الفيزيائيين. وحين لا يستطيع غير المتخصص أن يلاحظ أية ظواهر على الإطلاق، يتكلم الفيزيائي عن الدليل التجريبي. فليس لدى غير المتخصصين أي معيار لتقرير ما إذا كان الفيزيائيون يحصلون على دليلهم المحمل بالنظرية بطريقة اعتباطية تمامًا وبشكل دائري أم لا. والخبراء وحدهم؛ أعني الفيزيائيين أنفسهم، في الغالب الأعم لا يأبهون لما يبدو أنه مشكلات فلسفية صغيرة تنشأ عن نتائجهم. فمن

---

(١) انظر : Carnap 1956 and Stegmuller 1970, Chap. V.

مكتبة الفكر الجديد

الواضح أنه ليس من شأنهم الاهتمام بالتساؤل حول أي المعاني التعميمية لكلمة "تجريبي" تتفق مع النتائج التجريبية التي تجعل من نظرياتهم تجريبية. ببساطة هذا التساؤل ليس له محل من الإعراب بالنسبة إليهم، لقد أجابت عنه بالفعل النتائج التجريبية والتنبؤات النظرية. إلا أن أي شخص غير فيزيائي لن يتمكن من فهم تجارب الفيزياء الذرية وما دون الذرية، ليتبين كيف اعتمدت على خلفية معرفية آمنة. إن حجج كل من المعسكر المناصر للواقعية والمعسكر المناوئ لها بشأن وجود الكيانات غير القابلة للملاحظة وحقيقة قوانين الفيزياء لتخفق دون شك في إصابة أهدافها، إذا ما أغفلت البنية المعقدة للفيزياء الحديثة. وفي الواقع فهذا ما فعلته اتجاهات عديدة في فلسفة العلم. ولم يثبت أن أيًّا منها مثمر للنهوض بالحوار بين الفيزياء والفلسفة. وفي واقع الأمر فإن أفضلها إما أن يكون شديد التعقيد أو شديد التحديد[1].

---

(١) إن ما يُدعى بالنهج "التركيبي" في منطق الدرجة الأولى (Ramsay 1929; Carnap 1956, 1966) اتضح أنه غير عملي. وارتكز خَلَفه، نهج النموذج النظري، على مجموعة ساذجة من النظريات وسيمانطيقا تارسكي (Suppes 1969)؛ وقد كانت أكثر نجاحًا؛ ويدعوها فان فراسن (١٩٨٠، ١٩٨٧) بالنظرة "السيمانطيقية" للنظريات. وتم استخدامها بشكل أكثر تفصيلاً في النهج البنيوي (Sneed 1971)؛ ولنظرة عامة انظر: Balzer et al. 1987; Balzer and Moulines 1996. إن النهج البنيوي تم توظيفه بشكل أكثر تعقيدًا في: Ludwig 1990 and Scheibe 1997b, 1999. أصبح من قبيل الموضة في العقد الأخير إعادة تأسيس ليس النظريات الفيزيائية ومحتواها التجريبي ولكن النماذج ذات المجال المحدود وحدها والطريقة التي ترتبط بها مع الظواهر: انظر: Morgan and Morrison 1999; Bailer-Jones 2004.

مكتبة الفكر الجديد

ودون الدخول في أية تفاصيل لهذه الاتجاهات، فإن مشكلة ما إذا كان ممكنًا اعتبار الأشياء الفيزيائية تجريبية أم لا يمكن تحديدها على النحو التالي. تنشأ أي شكوك بشأن المحتويات التجريبية للنظريات الفيزيائية من السمة البنائية لتكوين النظرية والتجربة. فالإنجاز الأساسي للعلم الجديد عند جاليلو كان استبدال التجربة والقياس بالإدراك الحسي. لم تضع الفيزياء الحديثة فقط شبكة من التشييد النظري حول الظواهر التجريبية. فتحت الظروف المعملية تقوم التجارب أيضًا بإحداث الكثير من الظواهر الجديدة التي لا تحدث في الطبيعة؛ إذ لم يقم المنهج التجريبي للفيزياء بتوسيع قدراتنا التجريبية على إدراك الحقيقة بل قام أيضًا بتغييرها جذريًا. تهدف التجارب إلى بحث الأنساق المنعزلة تحت ظروف أقرب إلى المثالية. ومن أجل القيام بذلك، يتم تحليل الظواهر على خطى منهج جاليليو للحل والتركيب (التحليلي – التركيبي)[1]. مثال ذلك ما قام به جاليليو من تحليل سلوك الجسم الساقط تحت تأثير الجاذبية وإعاقة مقاومة الهواء. كما قام – علاوة على ذلك – ببحث هذه المسألة تحت ظروف تجريبية متفاوتة. هل نحن مؤهلون للقول: إن شبكة النظريات الفيزيائية تمثل شيئًا في الطبيعة إذا ما كانت تقوم – على هذا النحو – بهيكلة وتوسعة قدراتنا التجريبية على التوصل للحقيقة؟ إذا لم نكن كذلك فإن معظم الموضوعات الفيزيائية ليست خاضعة للتجريب. وإذا ما كانت الإجابة بنعم فإن قدرتنا التجريبية على التوصل للحقيقة نظرية إلى حد بعيد. ومن ثم نحتاج معيارًا فلسفيًا جديدًا للتمييز بين الأجزاء الآمنة (أو التجريبية) وغير اليقينية (أو الميتافيزيقية) لنظرياتنا.

---

(١) انظر: Losee 1993, 57-62, and Sect. 2.2

مكتبة الفكر الجديد

وفي الواقع فإن نظرة عن قرب إلى السجال حول الواقعية العلمية توضح أنه لا يتعامل مع أشباه المشكلات الميتافيزيقية بالمعنى الذي تقدمه التجريبية المنطقية[1]. على النقيض تمامًا يتناول المشاركون في السجال بشكل محدد للغاية مسألة أي أشباه العبارات والبُنى النظرية يمكن تأويلها حرفيًا وأيُها لا يمكن. ثمة هدف مشترك لمعسكر أنصار الواقعية ومعارضيها: إنهم يريدون إيضاح إلى أي مدى تقدم النظريات الفيزيائية وصفًا كافيًا للموضوعات والعمليات الواقعية في الطبيعة، أو إلى أي مدى تسمح هذه النظريات بتأويل واقعي.

أما وقد وصلنا إلى هذه النقطة، فإننا بحاجة إلى توضيح للمفاهيم. يستخدم الفلاسفة كلمة "واقعي" بطريقة تختلف جوهريًا عما يفعله العلماء حين يتحدثون عن وصف واقعي للظاهرة أو النسق. يسبغ العلماء صفة الواقعية على النموذج النظري حين يكون جيدًا؛ أي إذا لم يكن مؤسسًا على تصورات مثالية غير كافية (وغير واقعية). على حين يجد النموذج لنفسه تأويلاً واقعيًا على يد الفلاسفة إذا ما كان له دلالة. وفيما يلي بيان للاختلاف بين الاستخدامين. تنصب اهتمامات فيلسوف العلم على ما إذا كانت نظرية ما تشير إلى شيء في الطبيعة أم لا. من ناحيته يتساءل العالم عن كيف يقدم

---

(١) ومع ذلك فأحيانًا ما تتميز المواقف في السجال بطريق تدعم هذا الشك؛ مثال ذلك: **Fine 1984, 97**: "لذا فحين يتفق الواقعي وضد الواقعي، على سبيل المثال بشأن أنه بالفعل ثمة إلكترونات وأنها تحمل بالفعل وحدة شحنة سالبة وأن لها بالفعل كتلة صغيرة (حوالي ٩,١ × ١٠ $^{-٢٨}$ جرام)، فإن ما سوف يود الواقعي أن يضيفه هو التأكيد على أنها كذلك بالفعل – "بالفعل ثمة إلكترونات، حقًا!" يقدم فاين مقاربته الأنطولوجية الطبيعية من أجل استبعاد المشاكل الزائفة من هذا القبيل.

مكتبة الفكر الجديد

النموذج وصفًا جيدًا للنظام الذي يُشير إليه (أو يتنبأ بسلوكه) دون البحث في وجود هذا النظام. ومن وجهة نظر برجماتية فإن معظم العلماء واقعيون من وجهة نظر الفلاسفة. وفي الممارسة الفيزيائية، فإنهم عادة ما يتصرفون كواقعيين حين يصنعون النماذج ويقومون بالتجارب. وفي مراحل العلم العادي(*) فإنهم لا يضعون نظرياتهم ومدلولات مصطلحاتهم النظرية موضع البحث. فهذه المدلولات وفقًا لهم ليست من حيث المبدأ على المحك، ولكن فقط من حيث ارتباطها بمفاهيم فيزيائية معينة لم يتم التحقق منها بعد عن طريق التجربة. (علاوة على ذلك، يصدُق هذا على وظائف الموجة الميكانيكية الكمية وحزم الموجة التي يوظفونها في النماذج المادية لفيزياء الكم ويعدونها في تجاربهم(١)). إن نضالهم الأساسي من أجل تقديم وصف نظري ملائم وتفسير الظواهر. وهذا المسلك البراجماتي تجاه المدلول يشترك فيه كل العلماء، بشكل مستقل عن وجهات النظر الأبستمولوجية المحددة التي سوف يؤكدونها حين ينخرطون في الإجابة عن الأسئلة الأبستمولوجية، من قبيل موضوعات نظرية الكم.

إن اتخاذ قرار فلسفي مع أو ضد التفسير الواقعي للقوانين وكيانات الفيزياء أمر جد مختلف؛ إذ يعتمد بشكل حاسم على الافتراضات الفلسفية أو الميتافيزيقية المسبقة حول ادعاءات صريحة عن الواقعية. فمن وجهة نظر تجريبية تستلزم الواقعية المعطيات التجريبية وحدها، وأسبابها مادامت مستمدة من المعطيات(٢).

(*) راجع الهامش ص٢٠. (المترجمان)

(١) انظر الفقرة ٧-٣.

(٢) قد تكون التجريبية أكثر تحررًا أو أكثر صرامة. يقر كارترايت ١٩٨٣ بالعلل، ويخالفه فان فراسن ١٩٨٠ في ذلك.

مكتبة الفكر الجديد

إن الواقعية العلمية، على النقيض من التجريبية، هي افتراض أن العالم المادي شيء شبيه بحاصل جمع الموضوعات الخاصة بأكثر نظرياتنا العلمية قبولاً. وفي العقود القليلة الماضية، أصبح الخلاف موضوعًا للسجال على مستويات عدة، المجرد أو العيني، العام أو الخاص، للنظريات بأكملها أو في حدود الكثير من الحالات البحثية. ومع ذلك، فقد أصبح السجال منفصلاً عن السجال الفلسفي حول الطرق التي تبحث الفيزياء الحديثة من خلالها رؤيتنا التقليدية للواقعية. إن هذه الرؤية في حد ذاتها ميتافيزيقية، وقد هزت نظرية الكم دعائمها[1]. على الرغم من ذلك يمكننا التسليم بأن موضوعات النظريات الفيزيائية الناضجة قد نجت من الوقوع في براثن الفلسفة الطبيعية التقليدية وفقًا لمعيارين ذُكرا آنفًا: (١) أي من محتويات هذه المعرفة مطروح للمراجعة، و(٢) إن مفاهيمها تتأسس على التجربة.

وبهذا المعنى فإنها تنتمي إلى الواقعية التجريبية أو الظاهراتية بأوسع معانيها؛ أي أنها تمثل أجزاء أو بنى من العالم المادي، أو من الطبيعة، التي هي موضوع دراسة النظريات الفيزيائية (أو العلم الطبيعي في عمومه). إن

---

(١) يمكن القول: إن السجال الحالي حول تأويلات نظرية الكم لا يتداخل مع النقاش الحديث حول الواقعية العلمية، حتى إن كان متصلاً بمواقف يمكن الدفاع عنها في توافق مع الفيزياء الحديثة. إن الواقعية العلمية بالمعنى الكلاسيكي للواقعية تتعارض مع واقعة أن جُسيمات ما دون الذرة لا تُظهر سلوكًا كلاسيكيًا، أو أنه ما من وجود زمكاني بالمعنى الكلاسيكي المعتاد. تتخلص التجريبية الصارمة من هذه المشكلة – ولكنها تتعارض مع واقعة أنه دون الاعتقاد في وجود جُسيمات ما دون الذرة فإن مشروع بحثها على وجه التحديد في التجارب النمطية لفيزياء الكم ليس لها معنى على الإطلاق. تتم مناقشة المشكلة الحاسمة لميتافيزيقا أي جُسيم في الفقرة (١-٤).

مكتبة الفكر الجديد

الواقعية التجريبية هي تجسيد لأي شيء يمكن أن يكون موضوعًا للتجريب ويمكن أن يخضع للبحث من خلال مناهج العلم الحديث. ويهتم تفسيرنا الأبستمولوجي للواقعية بمفهوم عام من هذا القبيل للواقعية التجريبية. ففي حدود هذا المفهوم، يمكن تبسيط السجال حول الواقعية العلمية على النحو التالي. إنه يتعامل مع التساؤل حول ما الذي يمكننا – من حيث المبدأ – أن ندعوه "الواقعية التجريبية" من وجهة نظر العلم الحديث. إلى أي مدى من القوة أو الضعف يمكن للنظرية أن تخترق تصور الواقعية التجريبية، إذا ما طالبناها أن تتفق مع الفيزياء الحديثة؟ وإلى أي مدى تحدد محتويات أفضل النظريات لدينا وجهات نظرنا حول الواقعية التجريبية، وبالعكس إلى أي مدى تحدد تلك الأخيرة المحتوى التجريبي لما لدينا من نظريات؟ دعونا الآن نلقي نظرة على ما يمكن للتجريبية أن تعلمه لنا حول هذه الأسئلة الأبستمولوجية.

١-٢ تمييزات أكثر أو أقل تجريبية

لا تُسلم التجريبية الصارمة إلا برؤية ضيقة للواقعية التجريبية، ولمعرفتنا التجريبية للواقعية. وبالنسبة إلى ما لا سبيل لمعرفته عن طريق خبرتنا الحسية فإنها تتخذ الموقف الشكي أو اللا أدري. إن الأبستمولوجيا التجريبية للعلم لديها جذور عميقة في التقليد الفلسفي الذي يعود إلى أرسطو. إلى أي مدى تكون التجريبية ممكنة إذا ما أردنا أن نفسر ظواهر تجريبية؟ ما زالت التجريبية التقليدية تنحو إلى تفسير الظواهر في حدود الكيانات غير القابلة للملاحظة: كجوهر أرسطو، ذرات لوك للخصائص الأولية، عناصر ماخ الأساسية للإدراك الحسي. كان هيوم الوحيد الذي التزم بنزعة شكية لا أدرية جذرية.

مكتبة الفكر الجديد

كان مشروع كارناب الأساسي لإعادة تأسيس المحتوى التجريبي للنظريات الفيزيائية مؤسسًا على محتويات الخبرة الحسية ويمكن فهمه كمحاولة للتوفيق بين التفسيرات النظرية والتجريبية الصارمة. طور كارناب فيما بعد نسخة مخففة من هذا المشروع، مع التوسع في وجهات نظره المبكرة حول الواقعية التجريبية. في عام ١٩٥٦ اعتقد أن الواقعية التجريبية تشمل كل الموضوعات التي تشير إليها المصطلحات النظرية، مادامت هذه المصطلحات النظرية تنتمي إلى نظريات مقبولة ولها مغزى تجريبي، أي تشير إلى معطيات تجريبية ما[١].

أخفق مشروع كارناب لإعادة تأسيس النظريات الفيزيائية في نهاية الأمر بداعي بنية النظريات الفيزيائية نفسها؛ إذ لا تسمح هذه البنية لأحد بأن يعطي معايير مبهمة للمغزى التجريبي بالمعنى الذي قدمه كارناب[٢]، كما تقود المرء إلى الريبة في أن يكون الخط الفاصل بين ما هو تجريبي وما هو ميتافيزيقي يسير عبر منتصف النظريات التجريبية. وفي محاولة مهمة لتصحيح مشروع كارناب، سلم فلاسفة العلم بأن هذا الخط الفاصل يسير بالفعل مخترقًا نطاق العلم؛ إذ لم يرفضوا بالتحديد فكرة أن ثمة وجودًا لهذا الخط الفاصل. أكد دوهيم وكواين أن النظريات التجريبية لا حتمية تجريبيًّا. بمعنى أنها لا تكون كاملة الحتمية أبدًا بناء على المعطيات التي تؤلف أساسها

---

(١) انظر Carnap 1956. يُترجم كارناب مصطلحات فريجه (الحس)، و(الإشارة) إلى "المعنى" و"الدلالة"، على التوالي. ومن ثم فإن ما يتطلبه من أجل الدلالة التجريبية هو البحث عن الإشارة إلى بعض المُعطيات التجريبية.

(٢) انظر: Stegmiiller 1970, Chap. V.

مكتبة الفكر الجديد

التجريبي. إضافة إلى ذلك، دافع كواين عن وجهة النظر التي مفادها أن النظريات التجريبية قابلة للاختبار فقط في مجملها، وليس كأجزاء منفصلة. تلك هي أطروحة دوهيم-كواين الشهيرة[1]. لم يدافع دوهيم نفسه عن مثل هذه الأطروحة الصارمة. فقد اعتقد أنه حين تخفق تجربة ما، فإن الأمر يكون متروكًا لخبرة العالم في أن يقرر أي أجزاء النسق النظري الداعم يوضع موضع البحث. يمكن تفسير اعتقاد دوهيم في حدود التمييز بين الخلفية المعرفية والافتراضات النظرية الخاضعة للفحص. ومع أن فلسفة العلم التجريبية قد قبلت فكرة أن كل النظريات لا حتمية تجريبيًّا، فإنها قامت بمتابعة مشروع إعادة تأسيس النظريات التجريبية بحيث تقوم بعزل بنيتها التحتية التجريبية عن أجزائها غير التجريبية.

يمكن إنقاذ برنامج البحث التجريبي (بخلاف كارناب) عن طريق تمييز الأجزاء التجريبية وغير التجريبية للنظرية. ووفقًا لهذا التمييز، يتم التسليم بأن النظريات التجريبية تحتوي على أجزاء ميتافيزيقية لا سبيل لاختبارها. وفقًا لفان فراسن فإن البنية التحتية التجريبية للنظرية وحدها تناظر بوضوح أشياء في الواقعية التجريبية[2]. ومع ذلك فإن ما ينتمي إلى البنية التحتية التجريبية لنظرية ما يعتمد مجددًا على ما يمكن اعتباره "تجريبيًّا"؛ إذ ينبغي أن تزعم التجريبية الصارمة لنفسها الالتزام بالإدراك الحسي. أما ما إذا كانت

---

(١) انظر: Quine 1953, Duhem 1906.

(٢) انظر van Fraassen 1980, 1987. من المعروف جيدًا في واقع الأمر أن النظريات الفيزيائية تحتوي على عناصر غير تجريبية، واصطلاحية من قبيل اصطلاح أينشتين ١٩٠٥ بشأن سرعة الضوء ذات الاتجاهين وتعريف الآنية.

مكتبة الفكر الجديد

هذه المحاولة لإنقاذ التجريبية الصارمة ممكنة أم لا فهو موضع شك[١]. ولكن الآراء الأكثر تحررًا بشأن الجزء التجريبي للنظرية يدين أيضًا لتفسير تجريبي للواقعية. إن الخط الفاصل بين الأجزاء التجريبية وغير التجريبية (أو الميتافيزيقية) لنظرية ما يمكن أن يُرسم بطرق متعددة. وتقوم هذه الخطوط الفاصلة الأكثر أو الأقل تحررًا بإلقاء ضوء جديد على السجال حول الواقعية العلمية. إنها تُظهر للعيان طيفًا من المواقف الأبستمولوجية التي نقابلها بالفعل عبر هذا السجال.

يعتمد الخط الفاصل على نوع التجربة التي يمكن اعتبارها ذات صلة من أجل أن يكون محتوى نظرية ما تجريبيًّا. فقد كان بالنسبة إلى التجريبية المنطقية عصا القيادة لجهاز القياس الذي يمكن تسجيله في سجل التجربة[٢]. وبالنسبة إلى فلاسفة العلم الذين قاموا بتعميم المعيار التجريبي للقابلية للملاحظة فهو أي شيء يمكن أن يظهر للعيان من خلال الأجهزة البصرية أو الإلكترونية من قبيل التليسكوب والميكروسكوب أو الميكروسكوب الإلكتروني. بالنسبة إلى الفيزيائيين الممارسين هو أي كمية فيزيائية تظهر في نظرية ويمكن قياسها. بالنسبة إلى معظم الفيزيائيين ولفلاسفة العلم الذين لديهم دراية بتجارب الفيزياء فهي بالإضافة لذلك أي نتيجة تجريبية مؤسسة على تحليل المعطيات والخلفية المعرفية النظرية الآمنة. لا تختلف هذه المواقف إلا في الحد الفاصل بين ما هو تجريبي وما هو غير تجريبي على مستويات نظرية مختلفة، بحسب درجة الثقة في الافتراضات النظرية

---

(١) انظر مناقشتي في الفقرتين (٢-٦)، و(٣-٦) لتجريبية فان فراسن الصارمة.

(٢) ومع ذلك فقد أوضح ناجل ١٩٣١ بالفعل أن العلاقة بين موضع القائم على الملاحظة وقيمة الكمية الفيزيائية معقدة للغاية.

مكتبة الفكر الجديد

المسموح لها باحتواء المعطيات. ثمة موقفان يتموضعان على طرفي نقيض هذا الطيف. فينسجمان مع التسليم بأنه لا وجود لأجزاء من نظرية فيزيائية مقبولة لديها تلازم مع الواقع. وبهذه الطريقة، نحصل على تصنيف مبدئي لخمسة اتجاهات أبستمولوجية متمايزة بشأن الموضوعات الفيزيائية غير القابلة للملاحظة وقوانين الفيزياء: (١) الواقعية الشاملة، (٢) الواقعية النقدية، (٣) التجريبية المعتدلة، (٤) التجريبية الصارمة، (٥) البنائية. من الجلي أن الاختلافات بين هذه المواقف الأبستمولوجية الخمسة ليست بعيدة المدى. إنها اختلافات من حيث الدرجة وليست من حيث المبدأ. ثمة أيضًا مواقف مختلطة، على نحو ما نرى في "التجريبية البنائية"(*) لدى فان فراسن.

١- الواقعية الشاملة هي الموقف الأقصى. تفترض أن كل أجزاء النظرية الناضجة تناظر شيئًا في الواقع. ووفقًا لها فأي شيء يمكن أن يكون موضوعًا للفيزياء الحالية يوجد في الطبيعة: إن جُسيمات النموذج القياسي الحالي لفيزياء الجُسيمات بما فيها بوزون هيجز، وكمات المجال الواقعي والافتراضي لنظريات مجال الكم، وحزم الموجة الميكانيكية الكمية والثقوب السوداء تناظر الواقعية الشاملة ما يشيع تسميته بالواقعية "الساذجة". ومن بين المدافعين عنها علماء مندفعون وغير متخصصين.

(*) أصبحت التجريبية البنائية **Constructive Empiricism** علَمًا على رؤية فيلسوف العلم فان فراسن. قام فراسن بتقسيم العلم إلى عبارات المُلاحظة وعبارات النظرية. وهذه الأخيرة وإن كانت يُمكن أن توصف بالصدق أو الكذب، إلا أننا نقبلها فقط باعتبارها – في أفضل الأحوال – الأكثر ملاءمة تجريبيًا. عادة ما يُنظر إلى التجريبية البنائية باعتبارها نسخة منقحة من البراجماتية والأداتية، إلا أن المواقف الأكثر تشددًا من كليهما تنفي عن عبارات النظرية قيمة الصدق. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

٢- الواقعية النقدية هي الاعتقاد الكانطي الذي يذهب إلى أن كل موضوعات التجارب الفيزيائية الممكنة وحدها موجودة. وتعني "نقدية" هنا المعنى الكانطي لنقد الميتافيزيقا التقليدية، وأن التجربة الفيزيائية ينبغي فهمها بالمعنى الواسع للنتائج التجريبية والملاحظات التجريبية؛ لذا، فما يهم هو الدليل التجريبي المحتمل في حدود المعطيات التجريبية ذات الدلالة. وفقًا لهذه الرؤية فليس ثمة وجود فعلي للمكان المطلق عند نيوتن ولا نظيره الحديث المتمثل في التفسير الاسمي للنسبية العامة، ولا الجُسيمات الافتراضية لنظرية مجال الكم[١]. فالموضوعات الفيزيائية، والنظم، والعمليات توجد حين يتفق المجتمع العلمي للفيزياء على وجود دليل تجريبي عليهم أو ما إذا كان ثمة طريقة لقياسهم، كما هو الحال في حالة بوزون هيجز. إضافة إلى ذلك، فإن القوانين التي تصف هذه الكيانات يمكن اعتبارها على الأقل حقيقية بشكل تجريبي.

من وجهة نظر أنصار الواقعية النقدية فإن السؤال التالي ربما لا يزال مطروحًا: هل يسوغ التشوش المتوسع لنظرية مجال الكم على الأقل الاعتقاد في السحب لكمات المجال الافتراضي باعتبارها أجزاء منفصلة تقريبية للواقعية؟[٢] هل ينتمي برنامج الخط الفائق[*] للفيزياء بدلاً من الميتافيزيقا

---

(١) انظر على سبيل المثال: **Earman 1989**.

(٢) انظر الفقرتين (٦-٤-٣) و (٦-٦).

(*) نظرية الأوتار الفائقة **Superstring theory** محاولة لشرح طبيعة الجسيمات الأولية والقوى الأساسية في الطبيعة ضمن نظرية واحدة عن طريق نمذجتهم جميعا في إطار اهتزازات لأوتار فائقة التناظر شبيهة بالأوتار في نظرية الأوتار. وتنصب هذه=

مكتبة الفكر الجديد

حتى إذا ظلت خلوًا من أي محتوى تجريبي محدد؟[1] إلا أن الحالات الغامضة من قبيل الكيانات المفترضة للمادة أو النظريات غير الناضجة لا تهز اعتقاد أنصار الواقعية النقدية في وجود المجال المغناطيسي، والموجات الكهرومغناطيسية، والذرات، والإلكترونات، والبروتونات، والفوتونات، والنيوترونات. وإذا ما طُرح الأمر للتساؤل، فربما يدافع معظم الفيزيائيين عن هذا الموقف. كما يميل أيضًا فلاسفة العلم الذين لديهم معرفة تفصيلية ببعض أجزاء الفيزياء إلى اعتناق هذا الموقف، أو أحد الموقفين الفرعيين الموصوفين فيما يلي. ميزة الواقعية النقدية أنها تتبنى جديًّا موقف التجريبية فيما يتعلق بالاتجاه الشكي، إلا أنها تظل أيضًا منفتحة على نمو الخلفية المعرفية النظرية. يفصل العديد من فلاسفة العلم ما بين الافتراضات الواقعية النقدية حول الموضوعات الفيزيائية وقوانين الفيزياء. ومع أنهما وثيقا الصلة، فإنهما يتألفان من الموقفين الفرعيين التاليين للواقعية النقدية:

إن **الواقعية النقدية** اسم حديث للاعتقاد في أن قوانين الفيزياء التي تستمر في البقاء عقب الثورات العلمية هي صادقة بشكل تقريبي، أو أنها تناظر بنى ثابتة في الطبيعة [2]. تُسلم الواقعية البنيوية بأن الثورة العلمية قد

=النظرية على دراسة المشكلة الأهم في الفيزياء النظرية التي تكمن في مواءمة نظرية النسبية العامة، التي تصف الجاذبية وتطبق على البنى واسعة المجال (نجوم، مجرات، تجمعات فائقة) مع نظرية ميكانيكا الكم التي تصف القوى الأساسية الثلاث الأخرى. (المترجمان)

(1) Hedrich 2006.

(٢) انظر **Psillos 1999, 146-161**، والمادة المقتبسة هناك وخاصة **Worrall 1989**. وبناء على أساس دراسات تاريخية لتغير النظرية في الفيزياء والكيمياء، تبنى كارير=

مكتبة الفكر الجديد

تؤدي إلى اختفاء كيانات مُسلم بها من قبيل المكان المطلق، أو الأثير(*)، أو اللاهوب Phlogiston(**) من النقاش العلمي. وإذا ما أدت ثورة علمية إلى

=Carrier 1991, 1993 موقفًا مماثلاً. فيحاج بأنه من المعقول الدفاع عن تأويل واقعي للبنى في الطبيعة، التي يتم فهمها من خلال مفاهيم العلم التجريبي وقوانينه. ولكن على نحو ما تُظهر حالة الفلوجيستون (اللاهوب) فإن هذه المفاهيم والقوانين قد تكون مرتبطة بافتراضات مضللة عن الأنواع الطبيعية الداعمة؛ لذا لا يعتقد الواقعيون البنيويون في الأنطولوجيا التي تقف وراء هذه المفاهيم والقوانين. فالافتراضات النظرية حول الإطار المرجعي قد تتغير على حين لا تُطيح الثورات العلمية بالخصائص التجريبية للأنواع الطبيعية. دافع بوانكاريه عن نسخة من الواقعية البنيوية؛ انظر: Worrall 1989; Huber 1999.

(*) وسط افتراضي يملأ كل الفراغ، افترضت الفيزياء الكلاسيكية وجوده، وكان افتراضه في الأصل لتوفير وسط لانتشار الضوء، ثم استُخدم بعد ذلك عندما عُرف الضوء كمجال كهرومغناطيسي متذبذب لتوفير وسط ينتشر فيه هذا المجال. واختفى المصطلح كمفهوم علمي نتيجة لتجربة ميكلسون. (المترجمان)

(**) تُعد نظرية الفلوجيستون من أفضل الأمثلة على المفاهيم التي يتجاوزها العلم في تقدمه المستمر. والفلوجيستون كلمة إغريقية تعني النار أو الشعلة أو الاحتراق. والفلوجيستون شيء مُشترك بين كل العمليات الكيميائية من احتراق وتكلس واستخلاص الفلزات من خاماتها. ومقدار الفلوجيستون في بعض الأجسام قليل، وفي بعضها كثير، وهذه الأخيرة سريعة الاشتعال. قال بهذه النظرية الألمانيان يوشيم يوهان بيشر وتلميذه إرنست جورج شتال، وحتى العقد الثامن من القرن الثامن عشر كان الفلوجيستون أساس الكيمياء التي تُدرس بالجامعات، مانعًا إياها من التكميم الرياضي والامتثال للمثل التي تمكنها من اللحاق بفيزياء نيوتن. حتى جاء أبو الكيمياء الحديثة لوران لافوازييه فأثبت بالتجربة أن الكبريت والفسفور إذا احترقا لا يقل وزنهما لأن الفلوجستون خرج منهما، بل يزيد لأن مقدارًا ضخمًا من الهواء يثبت=

مكتبة الفكر الجديد

استبصار أن كيانات معينة لا وجود لها، فإن النظرية الناتجة لن تحتوي بعد ذلك على مصطلحات تشير إليها كما يصير المجتمع العلمي مقتنعًا بأن المصطلحات المناظرة في النظرية السابقة لا يمكن أن يكون لها أية دلالة. ولكن إذا ما حدث ذلك بشكل متكرر، فلن يكون بمقدورنا الثقة فيما تشير إليه مصطلحات نظرياتنا المقبولة حاليًا. تُعد الواقعية البنائية إجابة عن هذا الصنف من التفكير الذي كان يُسمى الاستدلال (أو ما بعد الاستدلال) التشاؤمي[1]. ومن حيث النموذج الإرشادي، فإن هذه الإجابة تنطبق على نظريات الكم الحالية. إنها تتمتع بنسقية بحيث تبدو وكأنها ثوابت للطبيعة. وينبغي على متبني الواقعية البنائية أن يؤمن بها. إلا أن الطريقة التي تُشير بها دالة الموجة الميكانيكية الكمية لما وراء تفسير بورن الاحتمالي لا تزال غير واضحة تمامًا كما كان في ثلاثينيات القرن العشرين. إن معادلات ماكسويل للديناميكا الكهربية الكلاسيكية (التي تم الاحتفاظ بها في الديناميكا الكهربية الكمية، وفي تكميم سرعة السير quantization pace) يُمكن التسليم بصدقها دون أي اعتقاد واقعية المكونات الفردية لتوسع فوريير Fourier expansion لمجال كهرومغناطيسي. إن الواقعية البنائية أساسًا موقف لمنظرين وفلاسفة علم لديهم خلفية فلسفية نظرية.

الواقعية العلية هي وجهة النظر التقليدية التي تؤمن بوجود أسباب غير قابلة للخضوع للملاحظة لآثار قابلة للخضوع للملاحظة. وقد نشأت الفيزياء

=أثناء الاحتراق. انظر: يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، عالم المعرفة، ديسمبر ٢٠٠٠، ص٨٨. (المترجمان)

(١) انظر: Laudan 1981; Psillos 1999, 32, 81, 101-108.

مكتبة الفكر الجديد

الحديثة عن هذه الوجهة من النظر. شرح نيوتن هذا الموقف في البرنكيبيا باعتباره القاعدة الأولى من قواعد التفكير، وتهدف الفيزياء بمقتضى هذه القاعدة إلى التوصل إلى "العلل الحقيقية" الضرورية والكافية للظواهر [1]. يميل الكثير من الفيزيائيين للدفاع عن هذا النوع من الواقعية العلية – على الأقل، ما داموا لا يحفلون بأسس نظرية الكم[2]. وعلاوة على كل ذلك، فإن التجارب ينبغي أن تتبنى بعضًا من الموقف البراجماتي للواقعية العلية. واليوم فإن من ينافح عن الواقعية العلية هم فلاسفة العلم الذين لديهم معرفة مفصلة بتجارب الفيزياء، وأدوات الملاحظة، والقوانين الظاهراتية. وكمحاولة للتغلب على المشاكل الفلسفية للثورات العلمية، تُعد الواقعية العلية أمرًا مكملاً للواقعية البنيوية. يعتقد أنصار الواقعية العلية بشكل نمطي أن الإلكترونات موجودة لأنها تصنع مسارات يمكن ملاحظتها في الغرفة الفقاعية[*] Cloud Chamber. كما قد يؤمنون بوجود الإلكترونات دون الزعم بحقيقة الديناميكا

---

(1) Newton 1687, 794.

يُفترض هنا أن العلاقة بين العلة والمعلول واقعية ويتم التعبير عنها من خلال نوع ما من العلاقة الضرورية بين العلة والمعلول. من الواضح أن هذا الافتراض القبلي أكثر قوة من وجهة النظر الاعتيادية التجريبية للعلية. وسوف أُعنى فيما يلي بالموقف الكانطي، إلا أن حجتي لا تعتمد على الافتراضات الفلسفية المحددة لكانط بشأن العلية.

(٢) ينشأ عن نظرية الكم العديد من الحُجج ضد الواقعية العلية؛ انظر الفقرات (٢-٥)، (٥-٣)، ومن (٧-٣) إلى (٧-٦).

(*) وعاء مملوء بسائل شفاف تم تسخينه إلى درجات حرارة عالية (عادة ما يكون الهيدروجين السائل)، يُستخدم في الكشف عن الجُسيمات المشحونة كهربيًّا في حركتها عبر هذا السائل. اخترع الفيزيائي دونالد جلاس هذا الجهاز، ونال عن هذا الاختراع جائزة نوبل عام ١٩٦٠. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

الكهربية الكمية. ويدعم مثل هذا الاعتقاد حقيقة أن الإلكترونات في حلقة التخزين في مُعجل للجُسيمات تخضع لقوانين الديناميكا الكهربية الكلاسيكية بدلاً من نظرية الكم. وعلى نحو ما تُبدي ظاهرة الإشعاع السينكروتروني، فإنها تكون مُشعة على خلاف الإلكترونات داخل الذرة. هناك العديد من النُسخ من الواقعية العلية. وتأتي مواقف كارترايت وهاكينج في مقدمتها. تُدافع كارترايت عن واقعية علية يكون للطبيعة بمقتضاها قوى علية أو إمكانيات خاضعة للتحليل العلي. ويقترح تفسيرها لإمكانيات الطبيعة بالاعتقاد في الصدق (التقريبي) للقوانين الظاهراتية[1]. يقترح هاكينج نسخة أقوى من الواقعية العلية من أجل الحصول على معيار كاف لوجود كيان ما. حيث يقرن الواقعية العلية بمتطلبات الاستخدام الناجح لكيان ما بوصفه أداة تكنولوجية. وفقًا لمعياره عن الواقعية، تكون الإلكترونات موجودة لأنه يمكن استخدامها بنجاح كأدوات تجريبية مع الآثار القابلة للملاحظة في تجربة التشتت. أو – وعلى نحو ما يقرر هاكينج – "إذا ما كان بإمكانك رشها، فإنها واقعية" [2].

٣- **التجريبية المعتدلة** هي وجهة النظر التجريبية التحررية للفيزيائيين التي تذهب إلى أنه بالإضافة إلى الظواهر الخاضعة للملاحظة بشكل فوري، فإن كل القيم المقاسة للكميات الفيزيائية لها تلازم تجريبي في الواقع. أنا لا أعرف أي فيزيائي لن يدافع عن هذا الموقف. وفقًا لهذه الوجهة من النظر يكمن المحتوى التجريبي للنظريات في التنبؤات بقيم الكميات الفيزيائية من قبيل الموضع، والزمن، والكتلة، وكمية

---

(1) **Cartwright 1983, 1989**

(2) **Hacking 1983, 23.**انظر الفقرة ٢-٤

مكتبة الفكر الجديد

الحركة، والطاقة، والشحنة، ودرجة الحرارة... إلخ. وتُعتبر القيم المقاسة لهذه الكميات صادقة (بالنسبة إلى بعض الوحدات الثابتة للكمية محل النظر)، خاضعة لأخطاء القياس. ويُنظر إليها باعتبارها الخواص الفيزيائية للأنواع الطبيعية، إلا أن النظريات التي تنتمي إليها ليس بالضرورة اعتبارها صادقة، ويظل التساؤل حول ما وراء هذه الخصائص مفتوحًا. مرة أخرى فإن أفضل حجة للواقعية المعتدلة هي الإشارة إلى نظرية الكم. وإذا ما تحدثنا عن الإلكترونات، فإن نظرية الكم تخبرنا بضرورة ألا نعتبرها حوامل لقيم قاطعة من قبيل الموضع وكمية الحركة في الوقت نفسه. إضافة إلى ذلك فإننا لسنا ملزمين بالاعتقاد في الديناميكا الكهربية الكلاسيكية ولا في الديناميكا الكهربية الكمية. فكل ما يتعين عليها الاعتقاد فيه وفقا للتجربة والقياسات هو أن الإلكترون كمية معينة من الشحنة، وأن ما يُدعى إلكترونًا ما هو إلا مجموعة من القيم المعينة للكتلة والشحنة التي تسير باستمرار جنبًا إلى جنب بالمعنى الذي نجده في الجوهر التجريبي لدى لوك(*) [1]. ويشغل هذا الموقف القلب من النظرية التجريبية للقياس، على نحو ما نمت في حدود نظرية النموذج لسوبس Suppes وزملائه [2].

(*) جون لوك (١٦٣٢-١٧٠٤) فيلسوف إنجليزي يُعد رائد الاتجاه التجريبي، بتأكيده على أن الإنسان يولد وعقله صفحة بيضاء، وتأتينا المعرفة عبر الخبرة وحدها وعن طريق الحواس. (المترجمان)

(1) Locke 1689, Book II, beginning of Chap. XXIII.

(٢) انظر Suppes 1980; Krantz 1971، وانظر أيضًا Falkenburg 1997.

مكتبة الفكر الجديد

٤- **التجريبية الصارمة** هي وجهة النظر الملحمية التي تذهب إلى أن الواقعية التجريبية لا تكمن إلا في الظواهر التي يمكن أن تخضع للملاحظة والإدراك الحسي بالمعنى الضيق. ووفقًا لها يكمن المحتوى التجريبي للنظريات فيما يمكن ملاحظته بالمعنى الحرفي؛ بمعنى أن يكون في مجال يناظر معطيات حسية. والمجالات الفيزيائية التي تنتمي إلى الموضوعات القابلة للملاحظة وحدها حتى الآن هي ما يكون له تمثل مكاني-زماني. إن هذا الموقف وفقا لماخ فقرة (١-١)، الذي قام فان فراسين بالدفاع عنه مؤخرًا هو موقف ملحمي[١]. ومع ذلك فإنه غير خال من شوائب الميتافيزيقا. فالزعم أن – على سبيل المثال – النموذج المعياري لفيزياء الجُسيمات الحالية يمتلك بالفعل محتوى تجريبيًّا يستند فعليًّا إلى ثقة شديدة في وحدة نظريات القياس المتنافرة الحالية لفيزياء الجُسيمات[٢]. إن تمييز كارناب الأصلي بين مفاهيم الملاحظة ومفاهيم النظرية لم يكن حقًّا له أية فائدة لهذه المشكلات[٣].

٥- تعتنق **البنائية** الكثير من المواقف التي تتراوح ما بين المثالية الكانطية الجديدة لمدرسة ماربورج[٤] ومدرسة إرلانجن[٥] إلى وجهات النظر المؤسسة على علم الإدراك الحالي[٦] والدراسات

---

(١) انظر van Fraassen 1980، وأيضًا الفقرة ٣-٦.

(٢) انظر الفصل الخامس.

(٣) انظر **Carnap 1956**. غالبًا ما يتم فهم التمييز في يومنا هذا بالنسبة إلى نظرية معينة، ولتكن كميات T النظرية لسنيد، انظر: **Sneed 1971 and Balzer et al. 1987**.

(4) **Cohen 1896; Natorp 1910.**

(5) **Janich 1996; Butts and Brown 1989; Tetens 1987; Lorenzen 1974.**

(6) **von Foerster 1981.**

مكتبة الفكر الجديد

الثقافية؛ ونشأت عن تلك الأخيرة البنائية الاجتماعية [1]. وطالما أننا نتحرك في إطار فلسفة العلم، تلتزم المواقف البنائية بالنظرة الأرسطية للطبيعة، وبمقتضى هذه النظرة لا يكون ثمة نظائر في الطبيعة للظواهر التجريبية ولا النظريات التي تصف أسباب حدوثها؛ لأنها كلها نواتج للنشاط الإنساني. وبالنسبة إلى كل من البنائية والتجريبية الصارمة ينحصر ما هو واقعي فيما تتم ملاحظته مباشرة سواء كانت النجوم في السماء، أو الزهور في حديقتي، أو صورة الغرفة الفقاعية لمسارات الجُسيمات. ومع ذلك نجد أن التجريبية البنائية على نقيض التجريبية الصارمة تعتقد فقط في نجوم السماء والزهور باعتبارها صادقة أو واقعية (أو طبيعية). فصورة الغرفة الفقاعية بالنسبة إلى أنصار التجريبية البنائية هي عمل صنعي تقني وليس جزءًا من الواقع التجريبي أو الطبيعة. من هنا فإن البنائية تتبنى المفهوم القديم للفيزياء (φυσις). تمثل البنائية الموقف الأدنى من الطيف الذي لدينا في هذا السجال. إنها لا تسلم بأن النظريات الفيزيائية المؤسسة على التجربة يمكن أن تخبرنا بخبر عن الواقع أو عن العالم الذي نعيش فيه. ووفقًا للبنائية فإن النظريات الفيزيائية مجرد أدوات ولا تهدف الفيزياء إلا للتوصل للحيل التقنية.

---

(1) **Latour and Woolgar 1979; Knorr-Cetina 1984; Pickering 1984.**
تتم مناقشة مواقف تيتينس ١٩٨٧ وبيكيرينج ١٩٨٤ في الفقرات ٢-١ و٢-٢. تُسيء هذه النماذج من البنيوية فهم تفسير العالم لأهداف العلم؛ انظر: **Scheibe 1997a**.

مكتبة الفكر الجديد

١-٣ الواقعي والفعلي

باعتبار أن الواقع التجريبي تجسيد لأي شيء يكون موضوعًا للتجريب وبتأويل مصطلح "تجريبي" بطرق مختلفة، نحصل على الطيف السابق من المواقف. وأي من هذه المواقف يستلزم تفسيرًا آخر للمعرفة التجريبية يحدد ما تخبرنا به النظريات الفيزيائية المكتملة النضج عن الواقع، على حين يحدد بشكل عكسي الاعتقاد في أي مما تخبرنا به النظريات الفيزيائية الناضجة عن الواقع التفسير الخاص للمعرفة التجريبية. والآن كيف لنا أن نتخير من بين البدائل؟ ومن أجل الهروب من فخ الدوران، فإننا نحتاج معيارًا مستقلاً لما ينتمي إلى الواقعية التجريبية من وجهة نظر الفيزياء الحديثة: معيارًا للواقعية مستقلاً عن المواقف المذكورة عاليه هنا وبنية المعرفة الفيزيائية هناك.

للأسف لا يُقدم السجال الحالي حول الواقعية العلمية معيارًا كهذا للواقعية. فكل مواقف الطيف السابق ذكرها يدين إلى التفسير التجريبي للواقعية نفسه. تختلف المواقف بشكل أساسي في فهم ما هو تجريبي بشكل أكثر أو أقل تحررًا بشأن المعطيات المحملة بالنظرية، من خلال الاختلاف في التمييز بين ما هو تجريبي وما هو غير تجريبي. وعبر هذا السبيل، يبدو أنها تعتمد النظرة التجريبية للجوانب الميتافيزيقية. فوفقًا لتجريبية القرن العشرين، الميتافيزيقي هو ما ليس بتجريبي، على حين يُعد التجريبي وحده علميًا. تزعُم التجريبية الشاملة أنه لا وجود للميتافيزيقا بين أفضل ما لدينا من مفاهيم علمية. تسعى الواقعية النقدية، والتجريبية المعتدلة، والتجريبية الصارمة إلى أن تجد لنفسها طريقًا بين هذه المتناقضات، زاعمة أن بعضًا من مفاهيم العلم التجريبي ميتافيزيقية وأن بعضها الآخر ليس كذلك. ونظرًا إلى أن ما هو غير تجريبي

مكتبة الفكر الجديد

فهو ميتافيزيقي وأن ما هو تجريبي موضع للخلاف، فإن السجال حول الواقعية العلمية يدور حول نفسه، مادام يتعامل مع التساؤل حول أي المفاهيم العلمية ينشأ عن المعرفة التجريبية في مقابل الميتافيزيقا.

إن الطريقة الوحيدة لكسر هذه الدائرة هي التخلي عن النظرة التجريبية للميتافيزيقا. فهذه النظرة غير ممكنة لسبب بسيط هو أنه من المستحيل أن نفصل بشكل كامل بين الأجزاء التجريبية وغير التجريبية في النظريات العلمية. ووفقًا لأطروحة دوهيم-كواين وما يتعلق بها من استبصار للبنية الكلية للعلم، فلا وجود لعلم تجريبي دون ميتافيزيقا[1]. وتحتوي كل النظريات العلمية على عناصر ميتافيزيقية بشكل لا يمكن تفاديه؛ لذا فإن التفسير التجريبي للميتافيزيقا في مقابل العلم التجريبي هو على خلاف مع بنية النظريات الفيزيائية. (أكد هيجل منذ زمن بعيد أن التجريبية هي الميتافيزيقا اللاواعية[2]). والسؤال الحاسم هو إذن: ما القدر الذي لا يمكن الاستغناء عنه من الميتافيزيقا للفيزياء الحديثة، وما القدر الذي يمكن الاستغناء عنه، أو حتى أن يكون زائدًا عن الحاجة؟ بعبارة أخرى، ما السمات التي تؤهل المعطيات الحسية للتجريبية الصارمة وأيضًا المعطيات التجريبية للفيزياء المحملة بالنظرية لتصبح معلومات عن الواقع؟

عند هذه النقطة تظهر الواقعية بمعنى العالم الخارجي المستقل. ويكون السجال حول الواقعية العلمية عما نعرفه حول الواقع وفقًا للعلم الحديث، مع

---

(1) **Quine 1951.**
(2) **Hegel 1830, § 38.**
كانت رؤيته العامة هو أن التجريبية العلمية نفسها، مثلها في ذلك مثل أي نظرية فلسفية، تستخدم المفاهيم غير التجريبية والمنطق.

مكتبة الفكر الجديد

التسليم بأن الواقع يوجد على هذا النحو. هل ثمة أي معيار أبستمولوجي مستقل لما هو واقعي، لا يعتمد على بعض الخيارات التعسفية بشأن التساؤل حول ما قد تكون عليه المعرفة التجريبية؟

من الجلي أن "الواقعية" مفهوم ميتافيزيقي. وأي محاولة للتوصل لما هو واقعي، على النقيض مما هو مثالي، أو خيالي، أو غير موجود تواجه المعضلة الميتافيزيقية التالية. فمن ناحية يُتصور أن ما هو واقعي مستقل عن الأنشطة البشرية. إلا أن الواقع المستقل بشكل مطلق هو غير متاح أبستمولوجيًا. ومن ناحية أخرى؛ فأيًا ما كانت المصطلحات التي نتصور بها الواقعي، فليس ثمة إمكانية لتصوره بمعزل عن لغتنا، أو مخططاتنا الإدراكية، أو تقسيماتنا، أو أيا ما كانت الأفكار النظرية. فما من شيء يمكن أن يكون موضوعًا لتفكيرنا يمكن تصورها بمعزل عن أفكارنا. أثارت هذه المعضلة سجالاً لا ينتهي بين الواقعية والمثالية بشكل عام، وهو بالفعل قديم قدم الفلسفة نفسها وليس ثمة إمكانية لعرضه هنا. ثمة نقطة واحدة واضحة: وهي أن المعضلة السابقة مشكلة أبستمولوجية؛ لذا فمن الأفضل استبدال التساؤل حول ما نعرفه عن الواقعي باعتباره شيئًا مستقلاً عن كل المفاهيم والأنشطة البشرية بالتساؤل حول ماذا عساه أن يكون واقعيًا. وما نعرفه يقينًا عن الواقعية هو أنها ليست تحت إمرتنا بشكل اعتباطي. والسبب الكافي لشيء ما ليكون واقعيًا هو أن يكون حقيقة عمياء تُصاب على إثرها أحكامنا المسبقة وتوقعاتنا بالإحباط.

يقترب هذا المعيار للواقعية الكافية من متطلبات بوبر بضرورة أن تكون النظريات التجريبية قابلة للتكذيب. إنها تتامية لمعيار هاكينج للواقعية: "إذا ما كان بإمكانك أن تنثرها، فإنها موجودة" كما هو مذكور آنفًا؛ حيث

مكتبة الفكر الجديد

يتطلب الأخير وجود شيء ما يكون متوافقًا مع أفكارنا بدلاً من إحباطها. ومع ذلك فإنها أكثر عمومية. إنها منفصلة عن الواقعية النقدية والمواقف المتفرعة عنها، التي تنتمي إليها آراء هاكينج وبوبر. فعن طريق إحباط توقعاتنا، تبرهن الواقعية على وجودها، بشكل مستقل عن تفسيرنا للمعرفة التجريبية. فالحقائق العمياء ليست تمامًا على نحو ما نبتغيها: وهذا يحدث في الحياة اليومية، وفي العلم عمومًا، وفي الفيزياء. فحيثما ذهبنا نقابل الواقع كما لو كان عاملاً مستقلاً لا يستجيب لإرادتنا. ولكن عادة ما لا يسلك هذا العامل المستقل بطريقة فوضوية تمامًا. ففي الفيزياء توضع البنى الشبيهة بالقوانين لما يحدث فعليًّا موضع البحث تحت ظروف تجريبية محددة جيدًا.

تأخذ العديد من المفاهيم الفلسفية التقليدية للواقعية هذه القدرة على السلوك المستقل في اعتبارها. فقد يُصيب الواقع التجريبي توقعاتنا النظرية بالإحباط، ونتيجة لهذا الواقع فإنها قد تتسبب في ظهور المعرفة الموضوعية. وفقًا لكانط فإن الطبيعة هي الشاهد الذي يجيب بـ"نعم" أو "لا" عن الأسئلة التي تثيرها تجاربنا(١). تبنى بيرس – مؤسس البراجماتية – هذه النقطة، وإدجار ويند نصير الكانطية الجديدة الذي قام بصياغة نظرية براجماتية عن التجربة. ووفقًا لبيرس وويند، فإن الطبيعة كيان ميتافيزيقي يترك بعضًا من نظرياتنا وتجاربنا للفشل، ويدع البعض الآخر ليصيب النجاح(٢). إلا أن

---

(١) انظر: Kant 1787, B XIII.

(٢) انظر: Wind 1934 and Falkenburg 2001. تأثر ويند بالمذهب البراجماتى (العملى) لبيرس والمذهب الواقعى الميتافيزيقى. سبق لويند افتراض أن العلم التجريبى ينبغي أن يتبنى معيار التناظر للصدق أيًّا ما كانت نظرية الصدق التي قد يدافع عنها المرء من وجهة نظره الفلسفية في نهاية المطاف.

مكتبة الفكر الجديد

التقليد الذي يقف وراء هذا التفسير للواقعية أكثر قدمًا. فالنموذج الإرشـــادي للواقعية، أو للطبيعة، كعامل مستقل لديه قواه العلية الخاصة به هو المفهـــوم الأرسطي القديم للطاقة. ولا يزال المفهوم الفيزيائي الحديث للطاقة محتفظًـــا بجذور أصله اللغوي. وتُشير كوانتم الفعل عند بلانك إلى أنه في طبيعة مجال الكم لا يسلك كما هو متوقع منه في الفيزياء الكلاسيكية.

ومن أجل وضع هذه النقطة عن الواقعية في شكل أكثر دقة، فمن المفيد العودة إلى التمييز الذي قام به كل من ليبنيتس وكانط بين الواقعية والفعليـــة. يكمن الواقعي في سمات وخصائص الأشياء qualia؛ على حين يكون الفعلي – متميزًا عن الممكن والضروري – مقولة شكلية(١). تعلمنا فلسفة كانط أن أي خبرة تعتمد على مفاهيم أولية وقوالب للحدس. ووفقًا لأبستمولوجيا كانط، فإن الواقعية التجريبية هي من ناحية تخضع في بنيتها لمقولات(*) ومبادئ العقل الخالص، بينما تتألف من ناحية أخرى من المعطيات الحسية. بحسب كـــانط فإن بنية الواقعية تُعرف عالمنا النظري، على حين تتألف الفعلية من السمات التجريبية الفعلية للشيء الذي ندركه. وبحسب كانط أيـــضًا فـــإن الواقعيـــة

---

(١) انظر مقولات ومبادئ العقل الخالص عند "كانط" Kant 1781/87. إن المصطلح الإنجليزى (فعلى actual) يستبقي فكرة أن ثمة شيئًا ما في حالة الفعل، كما يعني المصطلح الألماني (wirklich).

(*) المقولات Categories بصفة عامة هي فئات أساسية في تصنيف مُعين. يستند تصنيف الأشياء إلى مقولات إلى إرث فلسفي يعود إلى أرسطو وهي عنده عشر (الجوهر والكم والكيف والإضافة ...إلخ). وفي الفلسفة الحديثة قدم كانط تصنيفه للمقولات التي تنتظم وفقًا لها الإدراكات؛ وهي: الكم والكيف والإضافة والجهة، وكل منها تحتوي على ثلاث مقولات. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

التجريبية تتألف من كل من المكونين، الواقعي والفعلي. ويأتي الاثنان على هيئة خصائص ذاتية وكيفية للمعطيات الحسية. إنها تقع تحت مقولات الواقعي (بالأخص المفهوم الخالص للكم المكثف) والفعلي؛ فتسير وفقًا للمبدأ القبلي بأن الكميات المكثفة لها درجة. وأن هذه الدرجة – التي يدعوها كانط "واقع الإحساسات" – فعلية بحيث تكون بعدية مُعطاة من خلال المعطيات الحسية[1].

ومن أجل تمييز مقولات الواقعي والفعلي تبنى كانط التقليد الخاص بمنطق وأبستمولوجيا لايبنتس[2]. يُميز لايبنتس بين الإمكانية المنطقية والواقعية. وهنا تسير الإمكانية المنطقية وفقًا للمبدأ المنطقي للتناقض وتهتم بالاتساق، على حين تسير الإمكانية الواقعية وفقًا للمبدأ الميتافيزيقي الخاص بالعلة الكافية. بالنسبة إلى لايبنتس يكمن الواقعي في كل الاحتمالات الواقعية، أو كل العوالم الممكنة، على حين يكمن الفعلي في العالم الموجود فعليًّا[3].

وفي الفلسفة الحديثة تم تجريد هذه التمييزات التقليدية بين الواقعية والفعلية من تضميناتها الميتافيزيقية كما تم إعادة إنتاج على النحو التالي:

---

(1) Kant1787, B 207.

إضافة إلى ذلك يدعم تفسير "كانط" للواقعية الموضوعية شروط نظريته للزمان والمكان كأشكال للحدس الخالص، وهو ما يتم إهماله هنا.

(٢) انظر على سبيل المثال: Poser 1981.

(٣) تهتم "الإمكانية الواقعية" عند لايبنتس بـ"إمكانية التشكيل" أو المواءمة المفاهيمية لكل الجواهر في العالم، الموناد أو موضوعات التنبؤ الموناد. يدعم العالم الفعلي مبدأ ميتافيزيقي إضافي للايبنتس، وهو مبدأ أنه الأفضل على الإطلاق. انظر: Leibniz 1714; Poser 1981.

مكتبة الفكر الجديد

الواقعية هي شيء ما شبيه بالفضاء المنطقي للسمات الـذي يؤلـف عالمنـا النظري. وتكمن الفعلية في السمات العارضة للظواهر، على نحو مـا يـتم إدراكها من قبلنا في الخبرة الحسية أو يتم قياسها من قبل أدواتنا التجريبية في الفيزياء. إن مصطلح "عارض" حاسم. فالفعلي هو ما قد يكو خلاف ذلـك، وفقًا لعالمنا النظري ولمعرفتنا. وهنا يتم تبني التمييز الأبستمولوجي للإيبنتس بين حقائق العقل وحقائق الواقع.

إن حقائق المنطق والرياضيات نواتج للعقل البشري (الذي ينسُب إليـه لايبنتس القدرة على امتلاك بصيرة تنفذ إلى البنية الموضوعية للعالم)، على حين تكون حقائق العلم التجريبي نواتج للوقائع وللطريقة التي ندركها بها. إن الفعلي بالنسبة إلينا أمر عارض بقدر ما لا يكون للعقل الإنـساني البـصيرة للنفاذ إلى بنية العالم والقوى العلية للواقعية. تعمل الواقعية عملها فيما يتعلـق بالمعرفة النظرية بشكل مستقل عن إرادتنا، إنها عارضة بالنسبة إلينا. فبالقدر الذي يمكننا به التنبؤ على أساس النظريات المنطقية والرياضية، فإنها تنتمي إلى معرفتنا حول العالم، وقد نجحنا في الحد من العرضية عن طريق إرساء روابط شبيهة بالقوانين بين الوقائع. وبقدر ما تكون تلك الروابط مؤسسة على المنطق والرياضيات، فسوف يعتبرها أي فرد بخلاف المدافعين عن التجريبية الصارمة أو البنيوية ضرورية.

من هنا فلكي نفهم ما يمكننا أن نعرفه عن الواقعية، يتعين أن نضع في اعتبارنا تمييزين: (أ) التمييز الشكلي بين الواقعي والفعلـي، و(ب) التمييـز الأبستمولوجي للضروري والعارض. يُمثل الواقعي عالمنا العقلـي، فـضاء منطقيا من الخصائص والروابط النظرية التي تسمح بـالكثير مـن العـوالم

مكتبة الفكر الجديد

الممكنة. أما الفعلي فهو الكيان المستقل المدعو "واقعية"، أو "العالم الخارجي"، أو "الطبيعة" التي ننشد فهمها من خلال مفاهيمنا. وعنها تنشأ حوادث أحيانًا ما لا تتواءم مع توقعاتنا النظرية. والسمة الكافية (وإن كانت غير ضرورية) للفعلي هي الحوادث العارضة من قبيل ما لا يمكننا استباقه أو التنبؤ به. من هنا فأيما حقيقة تكون عارضة (أو متى ما كانت عارضة حين لا يمكننا التنبؤ بها)، تنتمي إلى العالم الفعلي، وأيًّا ما كانت المفاهيم النظرية، والبنى، أو التفسيرات العلية التي نجدها من أجل التنبؤ بالوقائع والحد من عرضيتها فإنها مرشحة جيدًا لتوصيفات كافية للعالم الفعلي. وعند هذه النقطة، قد يثور العديد من الأسئلة في السجال بشأن الواقعية العلمية. إنها تهتم بتعزيز نظرياتنا والعلاقة بين الصدق Truth والتأكيد المضمون. وقد نترك هنا هذه الأسئلة مفتوحة؛ لأنها لا تخص المعيار الأبستمولوجي بأن العارض، أو ما كان ذات يوم عارضًا، سمة للعالم الفعلي، أو حالة ماضية له؛ وذلك على التوالي. إننا قد نخدع أنفسنا بشأن ما نعتبره ضروريًّا أو شبيهًا بالقانون. إلا أننا لا يمكن أن نكون مخطئين بشأن توقعاتنا حين يتم تفنيدها أو تعزيزها.

إن جزءًا من الفعلي أن السماء تكون صافية في بعض الأيام وملبدة بالغيوم في أيام أخرى، وأن قياسات ميليكان لقطرات الزيت نتج عنها نسبة للكتلة والشحنة هي (بوحدات الكهرواستاتيكية) بقيمة ١,٧٦١٠١١ As/kg. وأي حقيقة تجريبية خلاف ذلك قد تفاجئنا تنتمي إلى السمات العارضة للواقعية التجريبية للعالم الفعلي. وفي خبرة الحياة اليومية يشترك كل المتحدثين باللغة العادية في معرفة حقائق من هذا القبيل. وفي الفيزياء، يتم إدراك الفعلي في حدود الأحداث، والظواهر الكيفية الملاحظة، ومؤشرات

مكتبة الفكر الجديد

أجهزة القياس، والبيانات المسجلة، والقياسات العددية؛ لذا لا يختلف العالم العقلي للخبرة اليومية عنه للفيزياء من حيث المبدأ، حتى إن تم التعبير عن الأول باللغة العادية وعن الثاني بالكميات الرياضية والفيزيائية. فكلا العالمين يتشاركان في تبني خصائص كيفية وشكلية. إنهما مؤلفان من فضاء منطقي من الخصائص (التي تكون لها بنية جبرية في الفيزياء) زائد القيم العارضة لهذه الخواص التي يمكن أن ننسبها إلى أشياء أو أحداث أو مواضع زمكانية(*) spatio-temporal.

المشكلة الأبستمولوجية الأساسية بشأن العلم الفيزيائي هي أن ثمة العديد من العوالم العقلية المتداخلة. فهناك العديد من النظريات الكلاسيكية والكمية، والنظريات النسبية وغير النسبية وراء ما ندعوه الخلفية النظرية المعرفية، إنها في الواقع طيف من الموضوعات النظرية التي تؤلف الخلفية المعرفية المقبولة للعلم عمومًا وللفيزياء. ليس ثمة نظرية موحدة؛ فالعلم تعددي والخلفية المعرفية التي توفرها الفيزياء الحالية غير متجانسة إلى حد بعيد، وفي تحليل المعطيات الخاصة بأي تجربة معاصرة في الفيزياء يتم استخدام الكثير من النظريات والقوانين والنماذج؛ ومع ذلك فإن كل حقيقة لا تجد لنفسها تفسيرًا كاملاً في إطار هذه الخلفية المعرفية النظرية تنتمي إلى

(*) الزمكان Space-time: يُشير هذا المصطلح إلى اتحاد المكان والزمان في منظومة واحدة تُدرك كوحدة أولية، وتُمثل رياضيًا بمكان مجرد، رباعي الأبعاد. وهناك طرق عديدة لإدخال إحداثيات في هذا المكان المُجرد، يفرض كل منها بنية خاصة للمكان والزمان يمكن التحقق من صحتها إمبيريقيًا عن طريق شخص يضطلع بالرصد في منطقته المجاورة. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

السمات العارضة للواقع التجريبي. تُعد فكرة الحادثة Event أقرب ما يكون إلى معيار الحدوث العارض وعدم تحقيق توقعاتنا. والحادثة هي شيء يحدث موضعيًّا بطريقة تسمى اختلافًا يمكن ملاحظته من بيئته: التماع الضوء، ضغطة على عداد جيجر(*)، نقطة على سطح فوتوغرافي. إن مفاهيم الظواهر الفيزيائية، والمعطيات، والمؤشرات، ونتائج القياسات أكثر تعقيدًا: إنها تعتمد على الخلفية النظرية المعرفية. والخبراء وحدهم يعرفون أن التجارب تكون لها دلالة أبستمولوجية بالنسبة إلى الأخيرة كأجزاء مكونة للفعلي. فالأولى غير مهيكلة، إنها ببساطة تخضع للملاحظة. والطريقة التي تقوم بها تلك الحوادث غير المهيكلة بإحداث الخلفية النظرية المعرفية، والتي ينتج عنها بدورها مفاهيم الظواهر الفيزيائية، والنماذج، وإنتاج أجهزة القياس، وتسجيل المعطيات، وقراءة المؤشرات، ونتائج القياسات؛ هي في غاية التعقيد. فيتغير الخط الفاصل بين الحقائق العارضة والخلفية النظرية المعرفية حينما تكون نظرية ما أو نموذج ما مقبولاً ولكن لا يزال مطروحًا للتنقيح. بالنسبة إلى أى أحداث، ومفاهيم، ونظريات القياس لفيزياء الجُسيمات فالسوف يتم بحثها في الفصول المقبلة من هذا الكتاب.

إن أحداث ومعطيات وظواهر ونتائج قياسات الفيزياء حقائق بالقدر الذي لا تكون فيه طريقة استنباطها مشتقة من النظريات أو العناصر الاصطلاحية في النظريات التي قد يتم اختيارها تعسفيًّا. وسواء كانت هذه

(*) أنبوبة بها غاز وبداخلها مصعد (أنود) على شكل سلك دقيق يُحيط به مهبط (كاثود) ويُستخدم لعد الإشعاعات النووية المؤينة، ويُنسب هذا الجهاز إلى الفيزيائي الألماني "جيجر" (١٨٨٢-١٩٤٥). (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

الأحداث... إلخ، تحدث أم لا، وأيًّا ما كانت سماتها العارضة، فربما أمكن للنظرية أن تتنبأ بها، ولكن مثلها مثل كتلة صماء من الوقائع فإنها لا تكون تحت إمرتنا؛ فالحقائق العارضة فجوات في الخريطة النظرية لعالمنا العقلي، يجب ملؤها بالملاحظة، والقياس والتجريب، وكما ذكر "فان فراسن" من خلال قياس "ميليكان" لـ e/m [1]. إن هذه الحالة في صالح التجريبية – وضد أي نسخة أصولية من البنائية، يكون الواقع التجريبي للعلم وفقًا لها ليس سوى بناء نظريٍّ. ولكن التجريبية الصارمة تؤكد بشكل ضعيف جدًّا بنية الواقع التجريبي. إنها لا تمكننا من حساب الظواهر العارضة أو المعطيات بوصفها تجريبية إذا ما اعتمدت بشكل جوهري على الخلفية النظرية المعرفية للفيزياء. (ولنأخذ على سبيل المثال، كتلة جُسيم غير مستقر فيما دون الذرة تم قياسه عبر عرض الرنين الذي يظهر في تجربة للتشتت لفيزياء الطاقة العالية؛ هي دون شك عارضة)؛ لذا تعجز التجريبية الصارمة عن الالتقاء بالكثير من محتويات الفيزياء الحديثة.

ولهذا السبب فإن ثمة مخرجًا براجماتيًّا للمعضلة السابقة تكون فيه الواقعية إما مستقلة ولكن غير متاحة أبستمولوجيًّا، أو معروفة من قبلنا ولكن مستقلة عن طريقة إدراكنا لها. ويمكننا الهرب من ذلك بمساعدة المعيار الأبستمولوجي القائل: إن الفعلي هو في حالات كثيرة عارض بالنسبة إلينا. إن ما يمكن أن يحدث بطريقة تخالف ما اعتدنا عليه يمثل السمة المميزة للواقعية التجريبية التي نسعى خلفها. قد تضع الطبيعة حدودًا على تطبيق

---

(١) "[...] تُظهر التجربة أنه ما لم يكتب عدد معين فى الفراغ (أو عدد فى مدى معين) فإن النظرية ستصبح غير كافية تجريبيًّا" **van Fraassen1987,119-120**.

مكتبة الفكر الجديد

نظرياتنا، وهذه الحدود مستقلة عن قدراتنا الإدراكية وأيضًا عن عوالمنا العقلية النظرية؛ فالعارض هو ما يخرج عن سيطرة النظرية، تتكون الواقعية التجريبية من الأحداث، والمعطيات، والظواهر، وما إلى ذلك مما هو مُعطى حتى الآن باعتباره عارضًا. إنها تجريبية بالقدر الذي يمكن أن تكون به (أو كانت به) خلاف ذلك، مقارنة بحالة المعرفة في الحاضر (أو الماضي).

وبهذه الطريقة نحصل على نسخة من الواقعية تكون مؤسسة على تمييزات شكلية. بإمكاننا أن ندعوها الواقعية الشكلية، إلا أنها لن تختلط **بالواقعية الشكلية بمعناها لدى فان فراسن؛ الموقف الواقعي الوحيد المُعترف** به في إطار تجريبيته البنيوية. وبالنسبة إليه تعني "الواقعية الشكلية" النظرة الشكية القائلة: إن الطبيعة –وراء الظواهر التجريبية– قد تكون مجرد الأجزاء غير التجريبية من مقترح لنظرية مقبولة[1]. إنه يرسُم الخط الفاصل بين البنية الفوقية التجريبية والأجزاء غير التجريبية لنظرية ما بمعنى تجريبي ضيق ويقوم بتطبيق المقولة الشكلية بشأن الممكن على ما هو غير تجريبي. على النقيض من آرائه، أدافع أنا عن واقعية ترسُم الخط الفاصل بين الأجزاء التجريبية وغير التجريبية لنظرية ما في حدود العارض (أي الأحداث ونتائج القياسات)، والضروري (أي القوانين التي تضع مُحددات نظرية على المعطيات). وهنا تُعد العرضية معيارًا أبستمولوجيًّا كافيًا للفعلية، على حين تأتي الضرورة إلى المشهد مرتدية عباءة الفيزياء الرياضية.

---

(١) انظر: **Van Fraassen 1991, 4**: "حين نأتي إلى نظرية معينة، فإن التساؤل: "على أي نحو يمكن أن يكون العالم وفقًا لهذه النظرية؟" يهتم بالمحتوى وحده.

مكتبة الفكر الجديد

إن كلا المفهومين أبستمولوجي، والخط الفاصل بين العرضي والضروري هو أيضًا كذلك، وفي الواقع فإن التمييز نسبي ويعتمد على الخلفية المعرفية النظرية. ونظرًا إلى تضاؤل مساحة العرضي بسبب النظريات المقبولة، فإن الخط الفاصل بين العارض والضروري يتعرض للتغير بمرور الزمن بطريقتين. فمن ناحية تتنبأ صياغة النظرية بالأحداث. وفي هذه الحالة يُصبح حدوثها أشبه بقانون؛ أي أنها تكون ضرورية بالنسبة إلى معرفتنا، إن قانون نيوتن للجاذبية والشروط المُقيدة له داخل المجموعة الشمسية يُمكننا من التنبؤ بكسوف الشمس المقبل بدرجة عالية من الدقة. ما من أحد يعرف ذلك سوف يدعو هذا الحدث بالعرضي، ولكنه سوف يكون على النقيض، بالنسبة إلى مَن عاشوا قبل بزوغ فجر العلم القديم على سبيل المثال، فكانت مشاعرهم يغمرها الرهبة تجاه هذا النوع من الأحداث؛ من ناحية أخرى تدخل الخلفية النظرية المعرفية تحليل المعطيات في الفيزياء؛ ونتج عن ذلك ظهور الظواهر المحملة بالنظرية والمعطيات التي تبدو عرضية بالنسبة إلى الفيزيائى، على حين سوف يعتبرها أنصار البنائية الاجتماعية بُنى نظرية.

إن التمييز بين العارض والضروري، ومعه نمط الواقعية الشكلية المقترح هنا، لا يمكن رده أبستمولوجيًا. مقارنة بالمواقف المعروضة آنفًا في الفقرة (١-٢)، فإنها قريبة من الواقعية النقدية وأيضًا من التجريبية المعتدلة. وفي الواقع فإنه موقف كانطي، أو نسخة من الواقعية التجريبية بالمعنى الكانطي[١]. وفقًا لهذه النظرة فإن أي ظواهر عارضة، ونتائج قياسات،

---

(١) ينتج عن ذلك أن جميع الخصائص الفيزيائية والأشياء والأنساق والعمليات تعتبر مُنتمية لعالم الظواهر وليس لعالم النومينا بالمعنى الكانطي. نجد موقفًا مُتعلقًا بذلك=

مكتبة الفكر الجديد

ومعطيات تجريبية، وقوانين فينومينولوجية للفيزياء تُعتبر جزءًا من العالم التجريبي. إضافة إلى ذلك، فإن البنى النظرية من قبيل التماثلات التي تُشتق مباشرة (خطوة الخلفية المعرفية الآمنة) من الظواهر أو المعطيات يُمكن اعتبارها تحوز شيئًا من البنية في الواقع. إنه رهان آمن أن تعتمد عليها حتى إذا ما ارتاب المرء في صدق القوانين الأساسية في الفيزياء[1]. إن أجزاء الواقع التجريبي التي تتعامل معها نظريات وتجارب الفيزياء قد يصح تسميتها حينئذٍ واقعية فيزيائية.

ماذا يُفسر بالضبط الواقع التجريبي بالمعنى الشكلي المُقترح هنا؛ أعني أنه بالنسبة إلى العالم الفعلي الذي يحتوي على تاريخه وإمكانياته المتأصلة، فينبغي فحصه بشكل أكثر قُربًا في الحالات المبحوثة. إن الأشياء تصبح معقدة أكثر فأكثر بسبب الرد النظري للعرضية المذكور سابقًا. ووفقًا للمعيار السابق فبإمكاننا تفسير كل حقيقة كانت يومًا ما عارضة في نطاق الواقع التجريبي، حتى إن كان ثمة إمكانية فيما بعد لأن نكون قادرين على الاستدلال عليها من النظرية؛ لذا فمن أجل أن نتوصل إلى المحتوى العارض لنظرية ما فإنه يلزم دراسة عملية صياغة النظرية وليس النظرية الكاملة بعد أن تم قبولها. ومن أجل التوصل إلى ما تقوله نظرية ما عن العالم الفعلي، فإنه يلزم دراسة قاعدة الملاحظات الأساسية التي تقف عليها والطريقة التي

=في الواقعية الداخلية لبتنام؛ انظر: **Putnam 1980, 1990**. ومع ذلك لم يكن من المفيد لأغراض فلسفة الفيزياء أن نضع مفهوم الصدق موضع التساؤل، على نحو ما فعل بتنام.

(١) انظر: **Cartwright 1983**.

مكتبة الفكر الجديد

تحولت بها إلى خلفية معرفية آمنة. من الممل دراسة تلك التفاصيل. وسوف نعرض في الفصل الثالث خطوة بخطوة أي أنماط المعطيات العارضة يكمن في قلب فيزياء الجُسيمات التجريبية.

١-٤ الواقعية ونظرية الكم

إنها لحقيقة عمياء أن الأحداث العارضة ونتائج القياسات لفيزياء ما دون الذرة غير متوافقة مع بنية الفيزياء الكلاسيكية. من هنا، ووفقًا لمعيار الواقعية الأبستمولوجية المذكور آنفًا، فإننا نُدرك دون شك أن (١) يوجد موضوع لدراسة فيزياء ما دون الذرة، و(٢) إنه لا يتمتع ببنية كلاسيكية. تتفق نظرية الكم والنتائج التجريبية العارضة كما أنها غير متوافقة مع بنية الفيزياء الكلاسيكية أيضًا[١].

إن آراء بلانك وأينشتين تُظهر مع ذلك أن الواقعية العلمية انبثقت عن ميتافيزيقا وثيقة الصلة بالافتراضات الكلاسيكية حول الموضوعات الفيزيائية[٢]. إنها واقعية للموضوعات التي لها خصائص زمكانية وعلية مُعرفة جيدًا، ولا يمكن نسبة هذه الخصائص إلى حالات الكم لجُسيمات ما دون الذرة، دعونا ندعو هذا النوع من الواقعية الواقعية الكلاسيكية. دافع

---

(١) تعني "نظرية الكم" هنا ميكانيكا الكم النسبوية وغير النسبوية، والكهروديناميكا الكمية وأي نظرية مجال كم. (مع استبعاد نظرية الكم القديمة، فهي ترتكز على محاولة إنقاذ ما يمكن إنقاذه من الفيزياء الكلاسيكية والواقعية الكلاسيكية قدر الإمكان).

(2) Planck 1908; Einstein 1936, 1949; Scheibe 2001, 142-155.

مكتبة الفكر الجديد

أينشتين عن هذه الواقعية في سجاله الشهير مع بور في مقابل رؤية بور التتامية(*) للظواهر الكمية(١).

من اليسير أن نُظهر أن ظواهر الكم ليست على خلاف مع الواقعية الكلاسيكية؛ إذ تُظهر القياسات الكمية أن جُسيمات ما دون الذرة ليس لها مسار بالمعنى الكلاسيكي. فسيرها في صورة الغرفة الفقاعية يرجع إلى قياسات مواضع متتالية إلا أن نظرية الكم لا تخول لنا أن نربطها بمسار متصل(٢)؛ فالقيم الخاصة بالموضع وكمية الحركة لا يُمكن قياسها معًا بطريقة تؤدي إلى قيم محددة. إنها تتدرج تحت علاقة عدم التعين لهايزنبرج. ووفقًا لها فإن سلوك الجُسيمات دون الذرية لا يمكن تحديده بشكل كامل. فتصف نظرية الكم فضاءها المنطقي من الخصائص في فراغ هيلبرت(**). إنها تمتد

(*) مبدأ التتام **Principle of Complementarity**: مبدأ يربط بين صيغتين، بحيث يُمكن أن توصف ظاهرة فيزيائية بدلالة إحداهما أو بالأخرى، وهو أحد أعمدة ميكانيكا الكم، وعلى أرض الواقع كان يُشير إلى المعرفة المكتسبة باستخدام وسيلتين تجريبيتين مختلفتين؛ مثال ذلك: إذا سببت بلورة سليكون حيودًا لنيوترون، فإنه يجب علينا عندئذ – طبقًا لنظرية بور– أن نتحدث عن النيوترون بوصفه موجة، بينما نجد أن الكشف عنه بواسطة عداد يُجبرنا على أن نُفسره كجُسيم. يوضح منطق الكم أن تعددية التمثيل هذه لا تفرضها علينا الأجهزة الخارجية، لكنها في حقيقة الأمر أصيلة ومتضمنة في عالم الكم، حتى لو ظلت غير مُلاحظة. (المترجمان).

(1) Bohr 1928; Bohr 1949.

(٢) انظر الفقرة (٥–٣). التغير المقابل في معنى مفهوم الجسيم تتم مناقشته في الباب السادس.

(**) مفهوم رياضي يقوم بهجران السطح الإقليدي ذي البُعدين، والفراغ ذي الأبعاد الثلاثة إلى فراغات لها أي عدد محدود أو غير محدود من الأبعاد. يُنسب إلى دافيد هيلبرت **D. Hilbert** (١٨٦٢–١٩٤٣). (المترجمان).

مكتبة الفكر الجديد

لحوالي نصف الخصائص الزمكانية والديناميكية للجُسيمات الكلاسيكية. وحالة الكم في فراغ هيلبرت يمكن أيضًا تحديد موضعها بدقة أو كمية حركتها بدقة، ولكن ليس الاثنان معًا. ينطبق الأمر نفسه بالنسبة إلى كل زوج مما يُمكن ملاحظته أو عوامل فراغ هيلبرت.

من وجهة نظر نظرية الكم، فإن الجوانب العلية للواقعية النقدية المعروضة آنفًا تُصبح مثيرة للمشاكل إلى حدٍّ بعيد. وعدا حالة القياسات القابلة للإعادة تحديدًا، لا تسمح نظرية الكم للمرء أن يعزو عللاً ديناميكية لأحداث فردية. وفيما يتعلق بالواقعية العلية، فإن نظرية الكم تُلجئُنا إلى التخلي عن العلل الفردية[1]. إضافة إلى ذلك، فإن قوانين الحفظ لنظرية الكم تؤدي إلى التنبؤ بعلاقات شبيهة بالقانون غير العلي بين الأحداث الفردية، أعني تلازمات (أينشتين – بودولسكي – روزن) EPR. إن هذه التلازمات غير موضعية. ومن وجهة نظر أينشتين لشرط العلية (وفقًا له فإنه لا يمكن نقل أية إشارة من خلال مسافات شبيهة بالفضاء)، إنها غير علية كما أنها غير متوافقة مع عدم مساواة بيل[2] Bell. وفيما يتعلق بالواقعية البنائية فإن نظرية الكم تُلجئُنا إلى البنى غير الموضعية.

---

(١) لقد اقترح "كاسيرر" عام ١٩٣٧ أنه في نظرية الكم يمكن الحفاظ على العلية فقط على مستوى معادلة "شرودنجر"، أي على مستوى المجموعة الإحصائية. انظر أيضًا الفصل السابع، وخاصة الفقرة (٧-٦).

(2) Einstein et al. 1935; Bell 1964; Aspect et al. 1982.

لُوحظ وجود تلازمات (أينشتين – بودولسكي – روزن) EPR في التجارب التي أُجريت مؤخرًا على مسافة ١٢ كم.

مكتبة الفكر الجديد

تُعد نظرية الكم أقل إزعاجًا للتجريبية الصارمة منها بالنسبة إلى الواقعية الكلاسيكية. فإذا لم يتساءل المرء بشأن العلل غير القابلة للملاحظة لظواهر الكم وأيضًا بشأن مجال الكم فيما وراء البنية التحتية التجريبية، فلن تكون ثمة مشكلة على الإطلاق فيما يتعلق بتأويل نظرية الكم. وفي الواقع فإن السمات غير الموضعية لنظرية الكم تنتمي إلى بنيتها التحتية التجريبية. ومن وجهة نظر التجريبي، فليس ثمة حاجة لاستعادة تفسير كلاسيكي للواقعية من أجل فهم أفضل لظواهر الكم. إذ تأتي التجريبية الصارمة جنبًا إلى جنب مع تفسير أداتي لوظيفة الموجة الميكانيكية الكمية، والتي يتم فهمها فقط باعتبارها أداة مفيدة للتفسير والتنبؤ بما ينجم عن القياسات.

حينما قدم بورن مخططه التمهيدي لتفسير المعيار الاحتمالي لميكانيكا الكم، في أولى رسائله المشهورة بشأن ميكانيكا الكم للتصادم، كان قد تساءل بالفعل عما إذا كان مجال الكم يعرض لـ"تناغم مؤسس قبليًا"، ووفقًا لذلك فإنها ليست بأي حال ناتجًا للمصادفة أن تتفق نظرية وتجربة مع الافتقار للظروف العلية لعملية كمية فردية[1]. من الجلي أنه في معرض هذا التساؤل لم يدافع عن التجريبية ولكنه لفت انتباهنا إلى قضية أن نظرية الكم يُمكن اعتبارها حنطة مطحن التجريبي. وفي الواقع فإنه من وجهة نظر التجريبي فإن السجال بأسره حول تأويلات نظرية الكم أمر غير ضروري لأنه يتعامل مع الأسئلة نفسها حول ماذا يحدث في مجال الكم فيما وراء الظواهر التجريبية؛ لذا فإن التجريبية الصارمة ببساطة تتجنب المشاكل الفلسفية لنظرية الكم التي ظلت موضوع السجال بين بور وأينشتين لعقدين من

(1) Born 1926a, 806.

مكتبة الفكر الجديد

الزمان[1]. بعبارة أخرى؛ لا سبيل للتجريبية الصارمة للدخول في المشاكل التأويلية لنظرية الكم؛ إذ لا تظهر هذه المشكلات إلا في حالة وجود تفسير أقوى أو أكثر تعقيدًا للواقعية الفيزيائية.

إن تفسير الواقعية، الذي بمقتضاه تتعارض نظرية الكم مع الواقعية، هو الواقعية الكلاسيكية؛ إنها تنبثق عن وجهة النظر الكلاسيكية للميكانيكا والديناميكا الكهربية. لقد تطورت نظريات الفيزياء الكلاسيكية في إطار روح الميتافيزيقا العقلانية. والواقعية الفيزيائية وفقًا لهذه الأخيرة هي مُحددة بشكل كلي. وعلى هذا الأساس كان أينشتين مقتنعًا بأن الوصف الميكانيكي الكمي للواقعية الفيزيائية غير كامل[2]. تعتنق الواقعية الكلاسيكية افتراضات أكثر دقة حول بنية الواقعية الفيزيائية من التمييز بين السمات الكيفية والشكلية للواقع التجريبي الذي اقترحته في الفقرة السابقة (أعني التمييز بين الواقعي والفعلي). إنه يربط على وجه الخصوص بين افتراضات بشأن العالم العقلي النظري للفيزياء وخصائص النظم الفيزيائية بافتراضين ميتافيزيقيين قبليين راسخين في الميتافيزيقا العقلانية. الأول هو مبدأ أن الأشياء الفيزيائية هي جواهر. والجوهر بالمعنى الذي قدمه ديكارت أو لايبنتس هو شيء في ذاته،

---

(١) لا شك في أن "فان فراسين" كان واعيًا جيدًا بهذه الحقيقة. فهو يرى تفسيره الشكلي لنظرية الكم كفهم ممكن للنظرية التي لا يُمكن إخضاعها بشتى الوسائل؛ انظر: **Van Fraassen 1991, 9.**

"على أن المتطلبات التفسيرية للسؤال: ماذا يحدث بالفعل (طبقًا لهذه النظرية)؟ أو حتى السؤال الأكثر اعتدالاً: كيف يمكن أن يكون العالم وفقًا لما تقرره هذه النظرية؟ لن تختفي إذا ما قُدر للعلم أن يساعدنا لتأسيس ومراجعة صورتنا للعالم".

(2) 1982 Einestien et al. 1935; Einestien 1949.

مكتبة الفكر الجديد

يُمكن شرحه على النحو التالي: إنه مستقل عن بقية العالم، إنه حامل للخصائص الأولية، ويُمكن تعريفه من خلال ما يُسند إليه من مونادات(*). (بحسب ديكارت فإن الجوهر الفيزيائي، أو المادة مؤلفة من مكونات مادية جسمية. ووفقًا له فإن خصائصها الأولية هي الامتداد، والدوام، والحركة. وأضاف نيوتن إلى هذه القائمة السمات الديناميكية من صلابة وقصور الكتلة). والافتراض الميتافيزيقي المسبق الثاني هو افتراض أن كل الأحداث والعمليات الفيزيائية تُحددها قوانين الطبيعة بشكل كلي، بالتوافق مع مبدأ العلية.

طالما تعرضت هذه الافتراضات الميتافيزيقية السابقة للنقد من قبل التجريبيين. فانتقد لوك المفهوم غير التجريبي للجوهر(١)، وانتقد هيوم مبدأ العلية. وفي معالجته لهذا النقد فهم كانط كلا المبدأين كشروط قبلية لإمكانية الخبرة لدينا. وبحسب كانط، فإن الواقعية التجريبية، أو الطبيعة هي رابطة شبيهة بالقانون لكل الظواهر التجريبية. إن نظريته في الطبيعة تحذو حذو بنية ميكانيكا نيوتن(٢). ففي نظريته حول الطبيعة، يؤدي قانون بقاء الجوهر ومبدأ العلية دورًا حاسمًا. ففي كتابه الأسس الميتافيزيقية للعلم الطبيعي يتصل هذان القانونان لمفاهيم الكتلة والقوة في ميكانيكا نيوتن. في مرحلة لاحقة

(*) المونادات Monads في ميتافيزيقا لايبنتس هي الوحدات الأساسية للواقع. وتصور المونادات كمراكز نفسية ليس بينها علاقات علية، غير أن كل واحدة منها تعكس الواقع كله. (المترجمان)

(١) ... والذي يتميز بغموض معنى حامل للخصائص لا يتمتع بأي خصائص، وذلك على خلاف مفهومه للجوهر التجريبي؛ انظر: Locke 1689, Book II, beginning of Chap. XXIII.

(2) Friedman 1992; Falkenburg 2000.

مكتبة الفكر الجديد

سيتحلى ماخ بروح لوك وهيوم في انتقاده لمفاهيم نيوتن للكتلة والقوة من وجهة نظر تجريبية.

إن مبادئ الجوهر والعلية هي بواقي للميتافيزيقا العقلانية. لقد دخلا الفيزياء الكلاسيكية فيما يتعلق بالموضوعات الفيزيائية والقوانين الحتمية. ففي ميكانيكا النقاط الكلاسيكية نجد أنهما يأتيان في سياق النقط الكتلية ومساراتها. وفي الديناميكا الكهربية الكلاسيكية، فإنهما يأتيان في إطار نقاط الزمكان كحوامل لقوى المجال الكهربي والمغناطيسي، وفي إطار الإمكانات ذات الصلة التي تُعد في العرف المدرسي "فيزياء" (حيث يتم نبذ استخدام الإمكانات المتطورة "غير الفيزيائية" وفقًا لمبدأ العلية[١]). فنقاط الكتلة هي حوامل للخصائص الفيزيائية من قبيل الكتلة، وكمية الحركة، والطاقة والشحنة. وتصلح قوانين البقاء بالنسبة إلى هذه الخصائص[٢].

إن كتلة نقطية مشحونة تشترك مع الجوهر بالمعنى التقليدي في الخصائص التالية إنها تُعد شيئًا في حد ذاته له وجود مستقل وتحمل خصائصها الفيزيائية في استقلالية عن باقي العالم، وفقًا لقانون القصور

---

(١) إن استخدام الإمكانات المتقدمة في الواقع أمر خلافي؛ فقد تم استحداثها في نظرية الكم للإشعاع عن طريق ويلر **Wheeler** وفينمان **Feynman** ١٩٤٥. يقترح كرامر **Cramer** ١٩٨٦ تفسيرًا تفاعليًا كميًا **transactional** لنظرية الكم على هذه الخطوط.

(٢) في الميكانيكا غير النسبوية ينقسم مفهوم الكتلة إلى الكتلة القاصرة **inertial** والكتلة الجاذبة **gravitational** فتكون الكتلة الجاذبة هي المسؤولة عن الجاذبية، فيما تُحفظ الكتلة وكمية الحركة والطاقة كل على حدة. وفي النسبية الخاصة لدينا كتلة السكون والكتلة النسبوية المعتمدة على السرعة؛ وتستبدل قوانين الحفظ المجمعة للكتلة –الطاقة والطاقة – كمية الحركة، بقوانين الحفظ غير النسبوية.

مكتبة الفكر الجديد

الذاتي. تُسبب القوى انحرافات في مسارات القصور الذاتي. وتُعتبر حالة انعدام القوة حالة أولية، ويتم أخذ التفاعلات في الاعتبار في مرحلة لاحقة. والأمر نفسه يسري على نظرية المجال. إنها تبدأ من المجالات الحرة، على حين تأتي تفاعلاتها مع بعضها ومع المادة فيما بعد. وحين تصير التفاعلات غاية في التعقيد، يتم استخدام نظرية الاضطراب. فتبدأ من حالة عدم الاضطراب، أي الكتل متحررة النقاط والمجالات غير المتجاورة، وتقوم بتقريب تفاعلاتها بشكل تدريجي. وفي واقع الأمر فإن المفهوم الميتافيزيقي لجوهر ما يكون مستقلاً عن باقي العالم يشكل دعامة لأشهر المحاولات لصياغة الفيزياء في قالب مثالي[1]. إن الروابط أشباه القوانين بين الخصائص العارضة للجُسيمات الكلاسيكية (أو نقاط الكتلة) في الكثير من نُظم الجُسيمات يتم التعبير عنها من خلال مسار في فضاء المرحلة phase space. فإذا ما كانت قيم الموضع وكمية الحركة لكل الجُسيمات في وقت معطى تأتي على هيئة شروط مبدئية، فإن المسار يتم تحديده بشكل كامل وواضح لكل الأوقات.

وعلى نحو ما أوضح كاسيرر، فإن ميكانيكا الكم ليست متوافقة مع المفهوم التقليدي للجوهر (أي مبدأ نسبة الصفات إلى حامل الصفات) ولا مع مبدأ العلية في الاستخدام الشائع للنُظم الفردية والعمليات[2]. تنتمي هذه

---

(١) انظر: Falkenburg 1993a, 1993b, 2000b.

(٢) Cassirer 1937، انظر أيضًا: Falkenburg 1993b. يُعد نهج بوم (Bohm 1952) لنظرية المتغير الخفي محاولة لإنقاذ كلٍّ من المبدأين في نطاق الكم. ومع ذلك تدفع أي نظرية للمتغير الخفي ثمن تقديم الأفعال- على - بُعد للفيزياء؛ أعني إمكانية غير موضعية تنتهك علية أينشتين وتتعارض مع النسبية الخاصة. انظر بيل (Bell 1964, 200): "علاوة على ذلك يجب أن تنتشر الإشارة المتضمنة آنيًا؛ لذا فإن نظرية من-

مكتبة الفكر الجديد

المبادئ التقليدية إلى عالمنا العقلي الكلاسيكي، إلا أنها ليست على خصام مع بنية ظواهر الكم. ففيما يتعلق بالتمييز بين الواقعي والفعلي المذكور في القسم السابق يعني هذا أن تفسيرنا للواقعي وخبرتنا بالفعلي يتعارضان في نطاق ما دون الذرة. إن إدراكنا للواقعي يأتي من جهة أنه حامل للصفات الفيزيائية وحتميتها الكاملة، إلا أن علاقات عدم التعين عند هايزنبرج ونظرية الكم في تفسيرها الاحتمالي المعتاد يخبرانا أن النتائج العارضة لقياسات الكم لا تُرد إلى هذا البناء construal النظري من قبيل ما هو موجود في الواقعية الفيزيائية. ليس ثمة مخرج يسير من هذا النزاع، وما يصدق على الرواية التي لا تنتهي للواقعي، والأداتي، والكلي، والمنطقي – الكمي quantum-logical، والفيزيائي، والميتافيزيقي... إلخ، يصدق أيضًا على تأويلات نظرية الكم. ثمة سبب يصعب إدراكه في ثنايا السجالات الأخيرة بشأن نظرية الكم يقف خلف هذه المشكلة. إن بناءنا المعتاد للواقعية يمكن أن يكون مفيدًا ومعقولاً بالنسبة إلى الخبرة اليومية. ومع ذلك فإن جذوره منغمسة بشدة في ميتافيزيقا القرن السابع عشر، وعندما نضعها في مواجهة نظرية النسبية ونظرية الكم يتضح أنها قوية للغاية بشأن مفاهيم المكان والزمان، والجوهر، والعلية[1].

=هذا القبيل لا يمكن أن تكون ثابت لورنتز". وفي نطاق نظرية مجال الكم النسبوي يصبح هذا الثمن باهظًا حقًا. إن نظرية كمية نسبوية من نمط بوم **Bohm-type هي** الأفضل مع وجود الكثير من الصعوبات، من بينها مشكلة أن الجُسيمات النسبوية لا يمكن أن تتموضع؛ انظر: **Clifton and Halvorson 2002**، والفقرة (٦-٤-١).

(١) أظهر ميتلشتيت **Mittelstaedt 2006** كيف تنتقد النسبية الخاصة ونظرية الكم الواقعية الكلاسيكية كبناء من الواقعية التجريبية فائق التحديد من جانبين. تقرر النسبية=

مكتبة الفكر الجديد

لذلك تتعارض نظرية الكم مع الواقعية الكلاسيكية؛ حيث إن بناءنا الكلاسيكي للواقعية يتعارض مع بنية الكم العارضة للعالم الفعلي. إن الواقعي – كما اعتدنا على إدراكه من خلال خلفية ميتافيزيقية تقليدية (ديكارتية) – والفعلي – كما يظهر من خلال تجارب فيزياء ما دون الذرة؛ لا يتفقان. وفي الأغلب يتفق ما اعتدنا أن نحوزه من ميتافيزيقا مع محتويات الفيزياء الحديثة بالنسبة إلى موضوعات خبرة الحياة اليومية والفيزياء الكلاسيكية. إننا ندرك – بشكل كلاسيكي – الواقعي من خلال رابطة زمكانية مُحددة بشكل كامل وديناميكية للأشياء، والأحداث، والعمليات. ومع ذلك فالواقعي عارض، وحينما نتكلم بلغة الكم فإن ثمة تعارضًا مع بنائنا الكلاسيكي للواقعي. وفي الواقع فإن المبادئ الكلاسيكية للجوهر والعلية تقوم بعملية تحديد زائد لمجال الكم، كما هو الحال في مفهوم شيء فيزيائي ما له خصائص كاملة التحديد.

وإذا لم نلتزم بصيغة ما للبنائية، وإذا لم نؤمن بإمكانية إعادة تأسيس البناء الكلاسيكي للعالم الفعلي، فإننا نجد أنفسنا مضطرين إلى الاستغناء عن بناء كلاسيكي شامل للعالم. اضطر فيزيائيون أمثال بلانك وأينشتين وبور – في إطار فيزياء الكم – إلى الاستغناء عن الافتراضات الكلاسيكية الحاسمة بشأن المادة والإشعاع حتى إن كان ذلك على خلاف إرادتهم. في الواقع أن هذه الواقعة تحديدًا تمثل حالة ضد البنائية، وشاهدًا مؤيدًا لتأويل واقعي للبنى الكمية. لقد أخفق البناء الكلاسيكي لمجال ما دون الذرة. وبقدر ما تتعارض

-الخاصة أن المفاهيم الكلاسيكية للزمان والمكان والآنية ليست عامة بالقدر الكافي؛ وتقرر نظرية الكم أن المفهوم الكلاسيكي للجوهر أقوى مما يلزم.

مكتبة الفكر الجديد

مسارات الجُسيمات الكلاسيكية والنظرية الكلاسيكية للإشعاع مع الظواهر الكمومية، فإن قوانين الفيزياء الكلاسيكية تكون خاطئة على حين ينبغي اعتبار قوانين نظرية الكم صادقة. إلا أن السجال حول تأويلات نظرية الكم يُظهر أن المصطلحات التي يمكن من خلالها تحديد الواقعية البنيوية للظواهر الكمية لا يزال غير واضح إلى حد بعيد.

حتى المصطلحات التي يمكن من خلالها إيضاح واقعية علية للجُسيمات دون الذرية بوصفها عللاً للظواهر الكمومية أقل وضوحًا أيضًا. وفي الواقع فإن هذه هي إحدى المشكلات الرئيسة التي يناقشها هذا الكتاب، التي سوف يتم بحثها بشكل أكثر تفصيلاً في الفصول اللاحقة. وحيث إن مفهوم الجُسيم دون الذري تحديدًا له جانب علي، فمن وجهة نظرة نظرية الكم يصير من غير الواضح ما الذي يعنيه الفيزيائيون تحديدًا حين يتحدثون عن الجُسيمات دون الذرية من قبيل الإلكترونات، والبروتونات، والفوتونات، والكواركات.

ومع ذلك فإن ثمة نقطة واضحة فيما يتعلق بالتمييز بين الواقعي والفعلي، أو بنياتنا النظرية والعارض. ليس ثمة بناء كلاسيكي شامل لمجال الكم، حتى إن وُجدت نماذج جزئية وتقريبية للظواهر الكمومية. إن السمة الرئيسة التي تسم الظواهر الكمومية هي أن الكثير منها لا يمكن أن ينضوي تحت راية النظريات والنماذج الكلاسيكية على الإطلاق، على حين تتناظر(*)

(*) تم استخدام مادة التناظر **correspondence** على مدار الصفحات السابقة – بشكل أكثر أو أقل دقة – بالمعنى الفلسفي الذي يعني معيارًا من معايير الحُكم على صدق العبارة، فتكون العبارة صادقة إذا تناظرت مع الواقع. أما استخدام التناظر في هذا السياق، وفيما سيلي منسوبًا لبور فيشير إلى القاعدة الفيزيائية التي تُقرر أنه عندما تكون لنظام-

مكتبة الفكر الجديد

ظواهر أُخرى مع الحالة الكلاسيكية على المستوى الإحصائي. وعمومًا لا يمكن رد نتائج قياسات الكم إلى العرضية؛ لذا ففي مجال الكم يجب استبدال البنية الكمية للظاهرة العارضة بالبناء الكلاسيكي للواقعية الفيزيائية.

إن هذه البنية الكمية عند الحد الأدنى. إنها تعتمد على الحد الأدنى من التأويل لنظرية الكم؛ أعني تأويل بورن–فون نيومان الاحتمالي[1]. إنها ترتد إلى الظواهر الكمومية وإلى القيم التي تم قياسها والتنبؤ بها للكميات الفيزيائية. ولكن في الفصول اللاحقة سوف نرى أن الظواهر والنماذج الخاصة بالفيزياء الجُسيمية لا تُمثل حنطة لمطحن التجريبي. وعلى قدر ما تُسهم الفيزياء الجُسيمية بنصيب في فهمنا للعالم الواقعي، لا ترتد البنية الكمية للظواهر لتفسير تجريبي للواقعية الفيزيائية. وفي الواقع فإن أية ظاهرة كمية وخصوصًا قياسات فيزياء الجُسيمات لا تفترض مقدمًا فقط وجود عالم بالشكل الكلاسيكي، ولكنها تفترض أيضًا لغة الفيزياء الكلاسكية. فالكثير من هذه القياسات يتم تفسيره من خلال نماذج نصف–كلاسيكية معقدة لا يمكن تأويلها من خلال تجريبية فان فراسن مثلاً. والكثير من هذه النماذج يستخدم ضمنًا نسخة معممة من مبدأ بور للتناظر. ومن أجل فهمها من المفيد أن نلجأ إلى تفسير بور للتتام في ميكانيكا الكم[2].

–ذري أعداد كمية عالية القيمة تكون نتائج نظرية الكم لهذا النظام موافقة لنتائج الفيزياء الكلاسيكية – انظر رولان أومنيس: فلسفة الكوانتم، ت: أحمد فؤاد باشا، يمنى طريف الخولي، عالم المعرفة، أبريل ٢٠٠٨، هامش المترجمين ص٢٤٦. (المترجمان).

(1) Born1926a,1926b; Von Neumann 1932, 101-110.

(٢) انظر الفقرات (٥–٤–١)، و(٥–٤–٢)، و(٧–٢–٢).

مكتبة الفكر الجديد

إن السمة المميزة لمجال الكم هي أن تفسيرنا النظري للواقعي وقدرتنا على التجريب بالنسبة إلى الفعلي لا يمكن أن يلتقيا أبدًا. فتُظهر نتائج القياسات الفعلية في العالم الميكروسكوبي الكلاسيكي أن ميكانيكا الكم لا يسعها التفسير. على العكس فإن اتجاه عدم الترابط الذي يُفسر ظهور نتائج قياسات معينة على الأقل على المستوى الإحصائي، على أساس ميكانيكا الكم للأنساق المفتوحة، يجب أن يفترض مقدمًا بيئة محلية ميكروسكوبية تتضاءل فيها فرص التراكيب الكمية[1]. هذه خطوة مهمة نحو رأب الصدع بين الواقعي والفعلي، أو بين نظرية الكم (كنظرية احتمالية)، وأحداث كمية (فردية) في عالم كلاسيكي. ولكن بهذه الطريقة تم فقط رأب الصدع جزئيًّا. أما السؤال المُحير عن كيفية انبثاق عالم كلاسيكي من واقعية دون ذرية فلا يزال موجودًا. وما دامت الواقعية الكلاسيكية فقط هي المتاحة، فستظل تُثير مشكلة القياسات الكمية العويصة نزعة ضد الواقعية. يبدو إذًا أنه ما من تفسير للواقعية دون الذرية.

١-٥ ميتافيزيقا الفيزياء

من وجهة نظر نظرية الكم يصبح من الواضح أن السجال حول الواقعية العلمية يتعامل مع أسئلة الفلسفة الطبيعية التقليدية، وتقف خيارات الواقعية الكلاسيكية أو التجريبية الصارمة في جانب التقاليد الفلسفية للعقلانية والتجريبية. فكلا الخيارين يخفق في تقديم تفسير مُرْضٍ لنظرية الكم. إن البناء الكلاسيكي للواقعية الفيزيائية قوي للغاية، والتجريبية الصارمة ضعيفة

---

(1) Giulini et al. 1996.

مكتبة الفكر الجديد

للغاية لفهم قوانين الكم للطبيعة. والموقف مشابه لما شرحه كانط في مذهبه لتناقض العقل الخالص. تخبرنا العقلانية بالكثير حول البنية الزمكانية للعالم، على حين لا تخبرنا التجريبية بشكل كاف. في هذا السياق تعامل كانط مع المشكلات التقليدية بشأن بداية العالم في المكان والزمان ووجود الذرات كأجزاء مكونة نهائية للمادة[1]. كان حله أن يبحث الأسس الميتافيزيقية للعلم الطبيعي، التي هي الافتراضات القبلية التي تستند إليها نظرياتنا عن العالم الزمكاني ومكوناته.

إن مشروع كانط – في واقع الأمر – لتقصي الأسس الميتافيزيقية للعلم الطبيعي لم يتم هجرانه، كما تود الفلسفة التجريبية للعلم أن تلقي في روعنا. أخفقت تجريبية القرن العشرين في محاولاتها للتوصل للتمييز بين العلم التجريبي والميتافيزيقا. واضطر برنامج كارناب البحثي إلى إعادة تأسيس النظريات الفيزيائية من مفاهيم لها دلالة تجريبية لمواجهة استبصار كواين عن أن العلاقة بين النظرية الفيزيائية وبياناتها علاقة كلية. ومع ذلك فالمخططات العامة للفيزياء معقدة. إنها شبكة متعددة الأبعاد من البنى التراتبية، من العناصر التجريبية وغير التجريبية التي تتشابك في الكثير من الحالات. إن بحثًا أعمق لنظريات فيزيائية معينة يسمح بعزل الأنماط التالية من العناصر غير التجريبية في النظريات الفيزيائية:

(أ) **المعايير القياسية:** تفترض القياسات مقدمًا أن ثمة نظامًا قياسيًّا؛ ومع ذلك فإن خيار النظام القياسي يفترض مقدمًا نظرية لأجهزة القياس، فيمكن قياس العرض والزمن من خلال مؤشرات ثابتة والساعات

---

(١) انظر: تحليلي في الفصل الخامس من: **Falkenburg 2000**.

مكتبة الفكر الجديد

النيوتونية أو من خلال إشارات ضوئية، أي من خلال نظم قياس جاليلية أو لورنتزية. والأمر نفسه على هذا النحو بالنسبة إلى السرعة، التي يُمكن قياسها في إطار جاليلي أو لورنتزي. يُمكن قياس الكتلة بالمصطلحات الكلاسيكية؛ أعني من خلال مرسمة طيف الكتلة التي تعمل وفقًا لقانون لورنتز للقوة، أو من خلال مصطلحات غير كلاسيكية كأن تكون من خلال متوسط الطاقة لرنين تضاؤل لجُسيم دون ذري غير مستقر وتكافؤ أينشتين للكتلة والطاقة.

(ب) **العناصر الاصطلاحية:** تحتوي الكثير من النظريات الفيزيائية كميات غير محددة تجريبيًّا ويمكن تعيينها بفضل بنية بسيطة وملائمة رياضيًّا للنظرية. ويُعد الاصطلاح على سرعة الضوء ذات الاتجاهين التي تأسس عليها تعريف أينشتين الإجرائي الشهير للآنية مثالاً ذائعًا. ففي بحثه الرائد عن الجاذبية الخاصة، اقترح أينشتين أنه حينما نقيم رابطة تزامنية بين الساعات من خلال إشارات الضوء، فإن الضوء يذهب في كلا الاتجاهين بالسرعة نفسها[1].

---

(١) استقى كل من أينشتين ورايشنباخ وجرونباوم (Einstein 1905, 894. Reichenbach 1957 and Griinbaum 1963) مواقف اصطلاحية من وجود مثل هذه العناصر الاصطلاحية في النظريات الفيزيائية. على حين اتخذ فريدمان (Friedman 1983, 264-339) موقفًا مناوئًا للاصطلاحية. فقد أوضح البنية الكلية للنسبية الخاصة عبر شرح "كيف تلتحم علاقة التزامن القياسية بحسم بنظرية النسبية. ليس بوسع المرء التساؤل حول موضوعية هذه العلاقة دون أن يضع أيضًا أجزاءً مهمة من بقية النظرية موضع التساؤل. وعلى وجه الخصوص، لا يمكن الاعتقاد في أن التزامن=

مكتبة الفكر الجديد

(ج) **المبادئ الما بعد نظرية:** تعتمد هذه المبادئ على الافتراضات الميتافيزيقية التقليدية حول بنية الواقعية التجريبية وحول مبادئ الطبيعة. فتحدد فئات للنظريات. وبهذا المعنى يمكن تسميتها بما بعد النظرية[1]. ومعظم المبادئ الما بعد نظرية موروثة عن العقلانية. تفترض الواقعية الكلاسيكية أن الواقعية التجريبية كاملة التحديد والموضعية. وتخبرنا بنية ميكانيكا الكم بالعكس. فأي أنماط التماثلات نجدها في قوانين الطبيعة؟ إن الميكانيكا الكلاسيكية غير متغيرة في إطار الانعكاس المكاني والعكس الزماني. والميكانيكا غير النسبية هي ثوابت جاليلية. والإلكتروديناميكا ثوابت لورنتزية. قدمت الديناميكا الحرارية سهم الوقت. إن التفاعلات الضعيفة تنتهك التكافؤ. إستمر حتى الآن افتراض أن القوانين الأساسية للطبيعة يجب أن تكون ثوابت CPT [2]. تُظهر هذه الأمثلة أن بعضًا من هذه المبادئ المابعد

-البعيد اصطلاحيًا دون أيضًا الاعتقاد في أن مثل هذه الكميات الأساسية من قبيل المقياس الدقيق للزمن اصطلاحيًا أيضًا". **(Friedman 1983, 317)** .

(١) لا يُستعمل مصطلح "المابعد-نظرية" هنا بوصفه مصطلحًا لغويًا ولكن على غرار نهج فيجنر. لاحظ فيجنر **(Wigner 1964, 16)**. "أن ثمة تشابهًا عظيمًا في العلاقة بين قوانين الطبيعة والأحداث من ناحية، والعلاقة بين مبادئ النسقية وقوانين الطبيعة من ناحية أخرى." انظر: **Falkenburg 1988**. إن المبدأ ما بعد نظرية يقوم بتثبيت سمة بنيوية معينة للنظرية. ويمكن التعبير عنها بلغة النظرية وأيضًا بلغة بعد-نظرية غير صورية.

(٢) انظر: **Streeter and Wightman 1964, 142-146.**

انتقالية الندية هي **P** للنظير دون الذري للمرايا؛ **C** هي شحنة المترافق وهي انتقالية الجسيمات إلى الجسيمات العديدة؛ **T** هي انعكاس الزمن.

مكتبة الفكر الجديد

نظرية في فيزياء القرن العشرين قد صارت مما يمكن اختباره. والسمة الجيدة بشأن التجارب ذات الصلة هي أنها لا تختبر نظرية بعينها بل بالأحرى فئة من البنى النظرية[١]. وفي واقع الأمر فإن التجارب الحاسمة لعدم التساوي عند بيل تستبعد كل النظريات المتغيرة الخفية فيما يتعلق بالاقتران الموضعي[٢].

هذه الأصناف الثلاثة من العناصر غير التجريبية للنظريات الفيزيائية متداخلة؛ فالتماثل الزمكاني لنظرية ما يُحدد اختيار نظام القياس الجاليلي أو اللورنتزي، ويؤثر اختيار العناصر الاصطلاحية لنظرية زمكانية على نظام القياس أيضًا. فأن تتبذ اصطلاح أينشتين للنسبية الخاصة يعني أن تلجأ لاختيار نظام قياسي غاية في التعقيد[٣]. والأنواع الثلاثة من الافتراضات بأسرها تؤثر على ما ندعوه بأنطولوجيا النظرية، أي نوع الكيانات التي تُلزمنا بها النظرية[٤]. فالاعتقاد في إطار القصور الذاتي يعني إعادة تأسيس

---

(١) بحث فرانكلين (**Franklin 1986, 35-38**) هذه السمة للاختبارات التجريبية لندية الانتهاك.

(٢) انظر على سبيل المثال: **Scheibe 1986, 1991**.

(٣) انظر مناقشة علاقات التزامن غير المعيارية في **Friedman 1983, 165-176**، والنقاش المتعلق بها للنظريات المكافئة تجريبيًّا، **Friedman 1983,165-176** والمناقشة المتعلقة بالنظريات المكافئة تجريبيًّا، **loc.cit.266-339**

(٤) يعني التحدث عن الأنطولوجيا بهذه الطريقة قبول الالتزامات الأنطولوجية لنظرية ما بالمعنى الذي قدمه كواين. انظر المقولة الشهيرة: "إن توجد يعني أن تكون قيمة متغير [مُقيد]" (**Quine 1953, 15**)، وفقًا لذلك فإن أنطولوجيا نظرية ما هي مجال الأفراد التي تقوم عبارات النظرية بقياسها. في إطار الرؤية التجريبية لما دون الحتمية والسجال بشأن الواقعية العلمية، قد يحاج المرء أن هذه الفكرة للأنطولوجيا ليست مفيدة حقًّا.=

مكتبة الفكر الجديد

زمكان نيوتوني جديد ومطلق، ويعني نبذ الثابت اللورنتزي، والعكس بالعكس. والاعتقاد في نظرية كمية لها متغيرات خفية يعني إعادة تأسيس مفهوم الفعل عن بُعد[*] action-at-a-distance مع نبذ الثابت اللورنتزي، وهكذا.

إن التصنيف المذكور عاليه للافتراضات الميتافيزيقية لا يزال يستند إلى تفسير تجريبي للميتافيزيقا، تكون المفاهيم التجريبية وفقًا له خلوًا من الميتافيزيقا، وبالعكس تكون كل المفاهيم غير التجريبية ميتافيزيقية. ونظرًا إلى أن هذا التمييز بين التجريبي والميتافيزيقي ينبغي مراجعته في ضوء البحث العقيم عن معيار للتمييز، يتعين على المرء أيضًا أن يعيد اختبار المفهوم الذي تتأسس عليه الميتافيزيقا. إن الأنواع الثلاثة من العناصر غير التجريبية في النظريات الفيزيائية والمشار إليها آنفًا تُمثل ثلاثة أنماط من الافتراضات الميتافيزيقية مختلفة تمام الاختلاف. ولسوف أضعها في ترتيب معكوس على النحو التالي:

(ج) مبادئ ما بعد نظرية يمكن أن تصير قابلة للاختبار. وتخفق محاولة تعيين تمييز بين المفاهيم التجريبية والافتراضات الميتافيزيقية في كلا الاتجاهين. فبعض الأجزاء الميتافيزيقية صارت علمًا تجريبيًّا. نقول

=ومع ذلك، فإنها تساعد على توضيح الاعتقادات الميتافيزيقية التي يلتزم بها اختيار معين لقياس ما أو ما إلى ذلك.

(*) مفهوم يُقصد منه إمكانية تحرك أو تغير جسم ما أو خضوعه لتأثير ما؛ من قبيل جاذبية جسم آخر، دون أن يلمسه مباشرة هذا الجسم الآخر. إنه تفاعل غير موضعي لأشياء منفصلة مكانيًّا. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

هذا نظرًا إلى أنه في تجارب فيزياء القرن العشرين اتضح أن العديد من الافتراضات الما بعد نظرية في الفيزياء لها محتوى تجريبي وتم تكذيبها في مجال الكم. وعلى وجه الخصوص فإن مبادئ الموضعية وبقاء التكافؤ مشتقة من افتراضات ميتافيزيقية تقليدية عن الطبيعة، لكنها أخفقت. ففي مجال الكم تم دحض الموضعية عن طريق انتهاكات تفاوت بيل. تم انتهاك التكافؤ عن طريق التفاعلات الضعيفة التي تم تأكيدها لأول مرة من خلال انحلال كو[١]. مبادئ أخرى بعد نظرية في الفيزياء، من قبيل الثبات البُعدي للكميات الفيزيائية[٢] وثبات CPT يعد مما يمكن اختباره. إن مبدأ بقاء الطاقة تم وضعه مرارًا وتكرارًا موضع البحث[٣]. ومع ذلك، فحتى يومنا هذا فإن هذه المبادئ العامة للفيزياء تهرب من محك التكذيب وليس من الواضح إلى أي مدى يكونون غير محددين تجريبيًا.

(ب) الافتراضات التي تظل غير محددة تجريبيًا لأسباب رئيسة. إن الافتراضات الاصطلاحية للنظريات الفيزيائية هي حالة واضحة لعدم التحديد التجريبي، ولكنها ليست الوحيدة. ثمة أمثلة أخرى نجدها في تفسيرات ميكانيكا الكم فيما وراء التفسير الاحتمالي لبورن وفون نيومان، مثل نظرية بوم للمحددات الخفية، تفسير العوالم المتعددة لعملية القياس، أو التفسير الإجرائي الحديث لميكانيكا الكم. وبقدر ما

---

(١) انظر الملحق (ب) والفقرة (٤-٢).

(٢) على سبيل المثال، ما جاء بنظرية Bks (Boher et al.1924)، أو ما قبل تأكيد فرض النيوترينو.

(3) Cramer 1986.

مكتبة الفكر الجديد

يكونون فقط متوافقين تجريبيًّا مع المعرفة الحالية حول نُظم الكم، فإنهم قد يصيرون يومًا ما خاضعين للاختبار. وبقدر ما يكونون مكافئين تجريبيًّا بشكل شامل لميكانيكا كم عادية غير نسبية (مثل منحى العوالم المتعددة)، فإنها غير محددة تجريبيًّا لأسباب من حيث المبدأ. وتمثل ميكانيكا نيوتن ذات المكان المطلق أو دونه مثالاً أبعد[1].

(أ) المبادئ المنهجية التي لا يمكن الاستغناء عنها. إن المبادئ الميتافيزيقية الأكثر شيوعًا في الفيزياء هي الأكثر تعرضًا للإهمال في ظل فلسفة الفيزياء حاليًا. إن المعايير القياسية للفيزياء تبدو واضحة للغاية حتى إنها لم تجذب أي اهتمام على الإطلاق في فلسفة الفيزياء في العقود الأخيرة. ومع ذلك فإنها حالات واضحة لمبادئ منهجية لا غنى عنها في الفيزياء. فدون القياسات، لن يكون ثمة إمكانية لعلم تجريبي كمي. ثمة مبادئ أخرى لا غنى عنها تؤسس للمنهج التجريبي. والمبدأ الأكثر أهمية هو أن ظواهر ونُظم الفيزياء يمكن تفكيكها وإعادة تركيبها، بمعنى تحليلها إلى أجزاء (تحليل ميريولوجي)، وعوامل علية ذات صلة (تحليل علي)، والتي بدورها يُفترض أن تندمج بشكل أكثر أو أقل وضوحًا في موضوعات التفسيرات الفيزيائية. وكل هذه المبادئ المنهجية تكون الفيزياء كعلم تجريبي. إنها المبادئ الترانسندتالية للفيزياء بالمعنى الكانطي لكونها شروطًا على وجه الخصوص لإمكانية الخبرة الفيزيائية. إنها وثيقة

---

(١) هذا المثال لعدم التحديد التجريبي والنظريات المكافئة تجريبيًّا تمت مناقشته في Van Fraassen 1980, 44-74.

مكتبة الفكر الجديد

الصلة بالمبادئ التقليدية للجوهر والعلية. إن سماتها البنائية سوف يتم تحليلها في الفصل التالي. ثمة أيضًا مبادئ تنظيمية لا يمكن الاستغناء عنها في الفيزياء، من قبيل مبادئ الوحدة والبساطة لقوانين الفيزياء، وقد عبر عنها نيوتن بقوله: "ستكون الطبيعة متوافقة مع نفسها إلى حد بعيد كما ستكون شديدة البساطة[1]".

ومن ثم، فمن ناحية قد يتم فهم النظريات الفيزيائية بوصفها نماذج نظرية معقدة لنظرية ميتافيزيقية في الطبيعة ذات بنية صورة أضعف. وتعتمد مثل هذه النظرية الميتافيزيقية على مفاهيم ومبادئ قبل-نظرية وغير صورية. وحين تصير هذه الافتراضات الميتافيزيقية مُحددة من أجل صياغة نظريات فيزيائية، يتضح أن بعضها على المدى البعيد ذو محتوى تجريبي. من ناحية أخرى، تعتمد النظريات الفيزيائية والممارسة الفيزيائية على مبادئ منهجية لا غنى عنها ولا يمكن اختبارها؛ حيث إن التخلي عنها سيعني التخلي عن الفيزياء كعلم تجريبي. ومع ذلك فإنها متشابكة؛ لذا فما من سبيل لكي نعرف مقدمًا ما إذا كان أحد هذه المبادئ قد يحصل ذات يوم محتوى تجريبيًا ويصير مما يمكن اختباره إلى مدى معين في مجال معين.

فالافتراضات الميتافيزيقية التقليدية على سبيل المثال بشأن نظام الطبيعة نشأ عنها مبادئ النسقية التي استخدمها لايبنتس كأدوات قوية ضد مبادئ نيوتن بشأن المكان المطلق والزمان المطلق في السجال الشهير بين لايبنتس وكلارك[2]. بعض من مبادئ النسقية تلك أصبح قابلاً للاختبار وتم

---

(1) **Newton 1730, 397.**

(2) **Leibniz and Clarke 1715-1716,** وعلى وجه الخصوص خطاب لايبنتس الثالث

مكتبة الفكر الجديد

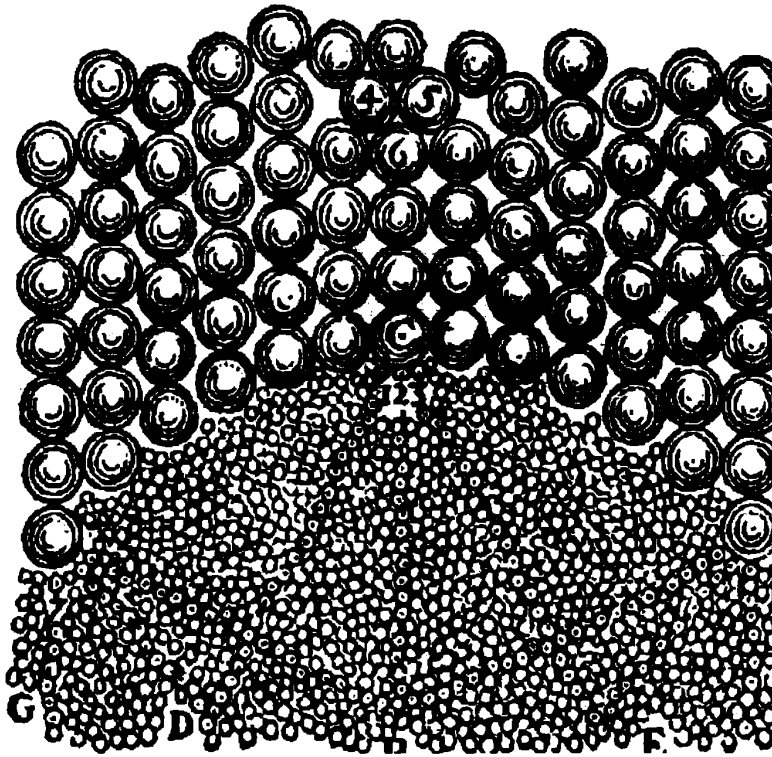
تكذيبه، كما تُظهر انتهاكات التكافؤ. إلا أن الافتراضات الميتافيزيقية نفسها حول النظام العقلاني للظواهر نشأ عنها المبادئ المنهجية للوحدة والبساطة لقوانين الفيزياء. لقد اتخذا مكانهما في القلب من الفيزياء الحديثة، ولا يمكن اختبارهما. وكلا المبدأين وثيق الصلة بالآخر. فالتوحيد هدف مركزي للفيزياء. أكد بلانك على أن هدف الفيزياء اكتشاف وحدة رياضية ثابتة، والتي تكون فعليا الواقع فيما وراء الظواهر[1]. وبمعزل عن واقعية بلانك الميتافيزيقية (التي يبدو أنها نتاج تلاقح البنيوية مع الأفلاطونية الرياضية)، فإن السعي خلف التوحيد لا يزال مبدأ منهجيًا ضروريًّا في الفيزياء. وتُعد البساطة مبدأً مهمًّا من أجل تأسيس النظرية الموحدة. تؤكد فلسفة العلم الحديثة على أن التفسير العلمي هو توحيد وأن البساطة هي المعيار الحاسم للاختيار بين النظريات المكافئة تجريبيًّا[2]. وكل المبادئ المذكورة هنا تنبثق عن العقلانية. إنها تعبر عن الاعتقاد في أن العالم عقلاني. إنها تزعم أننا قادرون على فك شفرة كتاب الطبيعة؛ لأنه كُتب بحروف رياضية يمكن وضعها في مصطلحات بديهية. وحتى إذا ما اتضح أن الطبيعة أقل نسقية، وتوحيدًا، وبساطة مما اعتقد مؤسسو الفيزياء الحديثة، فإن الاعتقاد في مبادئ النسقية، والتوحيد، والبساطة يظل لا غنى عنه لصياغة النظرية في الفيزياء.

---

(1) **Planck 1908, 49.**

(٢) انظر: **Friedman 1983, 266-271, Friedman 1988** .

مكتبة الفكر الجديد



شكل رقم (١-١) نظرية ديكارت لجسيمات المادة ونظرية الأثر لانتـشار الضوء.

(ديكارت ١٦٤٤، شكل رقم ٢٤)

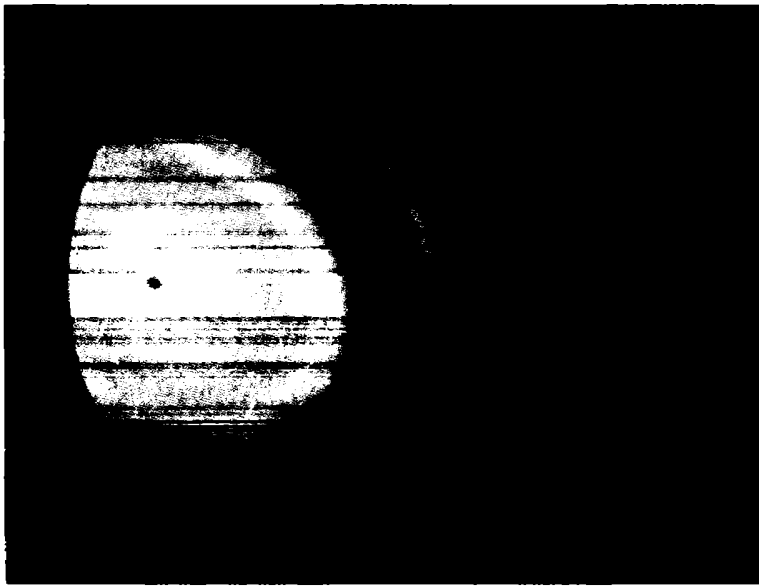
مكتبة الفكر الجديد

على نحو ما تُظهر انتهاكات النسقية وتلازمات الكم غير الموضعية، فإن التجارب والتجارب الذهنية (الفكرية)[*] Thought Experiments ليست فقط محكات لنظريات فيزيائية معينة. إنها أيضًا محكات لأساسها الميتافيزيقي. تختبر التجارب المُحصلات التجريبية للنظرية، على حين تختبر التجارب الذهنية مُحصلاتها المنطقية. كما يتم اختبار الأساس الداعم من الافتراضات الميتافيزيقية جنبًا إلى جنب مع الكفاية التجريبية والاتساق الداخلي للنظرية. فإذا ما اتضح أن افتراضات ميتافيزيقية معينة أقوى مما ينبغي في ضوء النظرية، عندئذ يتعين نبذها. وبالنسبة إلى المبادئ المنهجية التي لا غنى عنها للفيزياء، فمن الواضح أن هذا مستحيل. ومع ذلك فقد تثور الريبة حول أنه بسبب مناهج الفيزياء نفسها فإن ثمة حدودًا حاسمة للمعرفة الفيزيائية. ويبدو أن هذه الريبة كانت خلف تفسير بور التتامي لنظرية الكم؛ حيث إنه وفقًا لبور، يُشير ثابت بلانك إلى حدود التحليل التجريبي[١].

(*) مصطلح يعني التفكير النظري في التداعيات المنطقية لفرض ما، وذلك حين يتعذر إجراء التجربة التي تختبر هذا الفرض في الواقع، أو حين يكون لها آثار غير مرغوبة. من أشهر هذا النوع من التجارب "قطة شرودينجر" وهي تجربة ذهنية قدمها إرفين شرودنجر ليبين فيها المشاكل التي رآها بتفسير كوبنهاجن وتأثير الوعي الإنساني في عملية الرصد والقياس الفيزيائي خصوصًا في الحالات الكمية. من أمثلة هذا النوع من التجارب أيضًا "مصعد" أينشتين، ومسائل ابن الهيثم. (المترجمان)

(١) في محاضرة كومو الشهيرة، أكد بور أن "ما يُدعى مصادرة الكم [...] ينسب إلى أي عملية ذرية انقطاعًا جوهريًا، أو بالأحرى فرديًا، يكون دخيلاً كلية على النظريات الكلاسيكية ويُرمز له بكم بلانك للفعل". (Bohr 1928, 580). ونظرًا إلى أن "الفردية"=

مكتبة الفكر الجديد



شكل رقم (١-٢) ازدواجية الموجة-الجُسيم. التأثير المغناطيسي على حيود الإلكترون.

(طومسون ١٩٢٧، ثم جريمزيل ١٩٣٨، ٢٢١)

من وجهة نظر نظرية الكم، فإن المفاهيم التقليدية للجوهر والعلية تكون على المحك. إن لهما دورًا متفردًا. إنهما من ناحية ينتميان إلى نظرية ميتافيزيقية غير صورية عن الطبيعة تم تعيينها حين قدم نيوتن الديناميكا الفيزيائية الأولى. ومن ناحية أخرى فإنهما وثيقا الصلة بالمبادئ المنهجية الضرورية للفيزياء، أعني بالمبادئ الميريولوجية ومبادئ التحليل العلي اللذين يُمثلان أساسًا للمنهج التجريبي. ترتكز الفيزياء الحديثة على افتراض أن

=عند بور تعني "عدم إمكانية التجزئة"، فيبدو أن ذلك وثيق الصلة بحدود التحليلي والتركيبي للخبرة الذي قرره بور مرارًا وتكرارًا؛ انظر: **Chevalley 1991, 373-378**.

مكتبة الفكر الجديد

الظواهر تتكون من جواهر وقوى علية. وبناءً على هذا الافتراض، يسعى المنهج التجريبي خلف التحليل الميريولوجي والعلي للظواهر بهدف الكشف عن هذه الجواهر والقوى. وبالمناسبة فإن هذه الجواهر تُدعى جُسيمات في العالم العقلي الذي أرسى أسسه مؤسسو الفيزياء الحديثة. سوف يبحث هذا الكتاب بشكل تفصيلي في مصير مفاهيم الجُسيم الميريولوجية والعلية التي تشكل أساسًا لفيزياء الجُسيمات حتى يومنا هذا[١]. إن الافتراضات الميتافيزيقية حول الأجسام الميكانيكية، وأدنى أجزائها (الذرات)، وغيرها من الجواهر كانت عناصر أساسية في تشكيل الفيزياء الكلاسيكية. وبطريقة مماثلة فإن هذه الافتراضات نشأ عنها الواقعية الكلاسيكية؛ ميتافيزيقا الفيزياء الكلاسيكية. ومع ذلك تخبرنا نظرية الكم أنها تتخذ صيغة أقوى من اللازم[٢].

وفي الديناميكا الفيزيائية تم إدخال مفاهيم صورية لحالة النسق الفيزيائي وصيرورته الديناميكية لتحل محل المفاهيم غير الصورية للجوهر والعلية. وفي الميكانيكا الكلاسيكية، فإن الصيرورة الديناميكية لحالة ما يتم وصفها من خلال مسارها في المكان. وتستبدل ميكانيكا الكم الصيرورة المتكاملة لمتجه الحالة في فراغ هيلبرت وفقًا لمعادلة شرودينجر زائد الاختزال غير المتكامل لحالة الكم عن طريق القياس بالمسار في الفراغ. إن صيرورة حالة الكم لنسق فردي لا يمكن ترجمتها للعودة بها إلى المصطلحات التقليدية للجوهر والعلية؛ إذ يتعين التعبير عنها من خلال مصطلحات الموجات وتفسيرها الاحتمالي. إن انتشار الموجات أو احتمالاتها ينتهك الشروط الكلاسيكية للموضعية والعلية. ففي مجال الكم، لا تكون

---

(١) لقد تم تقديم هذه المفاهيم الجسيمية فى الفقرة (٣-١). انظر أيضًا الملحق (هـ).

(٢) انظر: **Cassirer 1937; Mittelstaedt 2006**

مكتبة الفكر الجديد

الطبيعة على النحو الذي تتنبأ به الفيزياء الكلاسيكية. إن البنية العرضية لظواهر الكم هي على خلاف البناء الكلاسيكي للواقعية التجريبية التي طالما كانت تمثل عالمنا العقلي للفيزياء لأكثر من قرنين من الزمان. وهذا هو السبب في أن من الصعوبة بمكان العثور على تفسير مرضي لنظرية الكم.

١-٦ نحو واقعية الخصائص

لقد هزت نظرية الكم – في واقع الأمر – أسس الاعتقاد التقليدي في العقلانية، والاطراد، والبساطة في الطبيعة. ولكن الاستغناء الكامل عن تلك المبادئ يعني الاستغناء عن الفيزياء بوصفها علمًا. إن النسخ الأضعف من مبادئ الوحدة والبساطة بقيت بعد الانتقال إلى نظرية الكم. وسيتناول هذا الكتاب في الفصول المقبلة تفصيلاً كيف أن وحدة الفيزياء اليوم، على إثر نظرية الكم، وحدة سيمانطيقية(*) وليست وحدة أنطولوجية. فما زالت الفيزياء تستخدم لغة موحدة؛ أعني لغة الكميات الفيزيائية، حتى إن ذهبت وحدة النظريات البديهية وموضوعاتها أدراج الرياح.

إن الوحدة السيمانطيقية للفيزياء اليوم تتأسس على تركيب المقياس المُدرج للكميات الفيزيائية. إن مقاييس الطول، والزمن، والكتلة تكون مُدرجة من صفر إلى ما لا نهاية كما لو كانت نظريات الفيزياء الكلاسيكية وغير الكلاسيكية، النسبية وغير النسبية؛ نظريات عن الأنواع الطبيعية نفسها. وفي واقع الأمر، فإن تركيب المقاييس في الكميات الفيزيائية يُعبر عن اعتقاد قوي في واقعية واضطراد الخصائص المناظرة في الطبيعة. ويتطابق هذا الاعتقاد

(*) السيمانطيقا أو علم دلالة الألفاظ: هو دراسة العلاقات بين اللغة والعالم. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

بأن الطول والزمن والكتلة هم من النوع نفسه على مقياس كبير أو صغير، مع افتراض أن وحدات هذه الكميات يمكن اختيارها اعتباطيًّا. فالطول، والزمن، والكتلة، يمكن تحديدها من خلال نظام السنتيمتر-ثانية-جرام، كما هو الحال في وحدات علم الكون، ووحدات الذرة، ووحدات مقياس بلانك.

إن تشييد مقاييس الكميات الفيزيائية يستند حقًّا إلى أساس بديهي ضعيف للغاية. إن الاختيار الاعتباطي للوحدات يجد لنفسه شرعية في البديهية الأرشميدسية لنظرية الأعداد الحقيقية[1]. لا شك في أن نظرية الأعداد الحقيقية هي قاسم مشترك بين كل نظريات القياس المعروفة في الفيزياء؛ لذا فمن الممكن التوسع في مقاييس الكميات الفيزيائية من الكلاسيكي إلى المجال الكمي، حتى إن كانت الموضوعات الخاضعة للملاحظة كلاسيكيًّا متميزة صوريًّا عن الموضوعات الخاضعة للملاحظة في فيزياء الكم. ولسوف نرى أن هذا التوسع يقوم باستخدام ضمني لمبدأ الجسر أو قاعدة التناظر؛ أعني نسخة تعميمية من مبدأ بور الشهير للتناظر. وعن طريق إقامة مقاييس للكميات الفيزيائية بهذه الطريقة، تكون الفيزياء المعاصرة قادرة على تجاهل مشكلة اللا مقياسية بالمعنى الذي ظهرت به لدى توماس كون. إن هذه المشكلة التي خضعت لنقاش موسع لعقود في إطار فلسفة العلم، ما هي في الواقع إلا مشكلة فلسفية ليس لها من دور في الممارسة الفيزيائية. إن التفاصيل السيمانطيقية لكيفية التغلب على هذه المشكلة هي مع ذلك مراوغة[2].

---

(١) لقد تأكد ذلك في: **Hilbert 1918**، كجزء أساسي من استخدام المنهج البديهي في الفيزياء. انظر أيضًا الملحق (أ).

(٢) انظر الفصل الخامس.

مكتبة الفكر الجديد

ومع ذلك تظل الوحدة السيمانطيقية للفيزياء المعاصرة مرتبطة بالالتزامات الميتافيزيقية. فأن تقيم مقاييس للكميات الفيزيائية يعني أن تعتقد في أن خصائص الأنواع الطبيعية هي نفسها بالنسبة إلى عالم الكونيات، والكونيات الوسيطة وما دون الذرة. (وتعني "نفسها" هنا "من النوع نفسه"، أو "مشابهة" بالطريقة التي تصنع بها متصلاً من الأعداد الحقيقية الموجبة.) ويناظر هذا الاعتقاد نسخة من الواقعية العلمية أضعف من مواقف الواقعية الشاملة والواقعية العلية المعروضة في الفقرة (١-٢)، ولكن أقوى من الواقعية البنيوية، أو التجريبية الصارمة، أو البنائية. إنها اعتقاد معين في وجود الخصائص الفيزيائية[١]، والتي لا تكون مرتبطة بالضرورة بالاعتقاد في وجود موضوعات فيزيائية منفصلة كحوامل لهذه السمات. حين صك ستوني مصطلح "الإلكترون" في عام ١٨٩١، فإنه أشار إلى "وحدة طبيعية للكهرباء"، أي شحنة تم قياسها في عملية تحليل كهربي[٢]. إن الشحنة ما هي إلا كمية فيزيائية، فهي سمة فيزيائية مُثبتة بطريقة معينة لعملية فيزيائية ويُمكن قياسها. على النقيض من هذه السمة الفيزيائية، فإن جُسيمًا مشحونًا ذا

---

(١) ينبغي ألا يُفهم ذلك بالمعنى الأفلاطوني، أى كاعتقاد في وجود الخصائص ككليات. إنها أقرب إلى المفهوم الأرسطي للخصائص الذي يذهب إلى أنها دائمًا ما تكون محمولة من قبل أفراد. وفي فيزياء الكم، فإن هؤلاء الأفراد هم أجهزة القياس التي تحدث على مستواها العمليات دون الذرية، أو على مستوى البيئة الماكروسكوبية التي يتلاحم معها النسق الكمي، انظر: **Falkenburg 1993b.**، وتقترب هذه الرؤية الفيزيائية للخصائص من مفهوم المجاز فى الأنطولوجيا المعاصرة. انظر: **Seibt 2002.**

(٢) انظر **Millikan 1917,pais 1986,73-74**، وأيضًا الفقرة (٣-٢-١).

مكتبة الفكر الجديد

كتلة كبيرة هو عبارة عن تجميع لسمات فيزيائية تأتي دائمًا معًا عند القياس، أي ما يمكن أن ندعوه جوهرًا تجريبيًّا بلغة لوك[1].

إن الاعتقاد في السمات الفيزيائية التي تناظر كميات مقاسة له أساس إجرائي. إنها تناظر موقف التجريبية المعتدلة المعروضة في الفقرة (١-٢). ومع ذلك فإن إقامة مقاييس الكميات يُناظر اعتقادًا ميتافيزيقيًّا أقوى. إنه يناظر الثقة في أن ثمة متصلاً من السمات في الطبيعة تُغطي الخاصية الزمكانية والكميات الديناميكية لكل العمليات الواقعية أو الممكنة الفيزيائية على كل المقاييس. يتجاوز هذا الاعتقاد في قوته النزعة الإجرائية في ملء الفجوات بين التعريفات الإجرائية المتنوعة للكميات الفيزيائية التي تكون مُقيدة بمناهج قياس معينة. كما أنها أقوى من الواقعية البنيوية في سماتها الكيفية. إن الواقعية البنيوية هي الاعتقاد في أن العمليات الفيزيائية تعرض (تقريبيًا على الأقل) بُنى صورية مُعينة. إن واقعية الخصائص تعبر عن الاعتقاد في أن الطول، والزمن، والكتلة، والشحنة... إلخ، هي خصائص يُمكن نسبتها إلى نُظم وعمليات في الطبيعة. ودون واقعية الخصائص من هذا النوع، فلن يكون ثمة إمكانية لوجود الفيزياء كعلم في واقع الأمر. ودون الاعتقاد في الخصائص الفيزيائية المشتركة بين كل الأنواع الطبيعية في كل المقاييس (أيا ما كانت هذه الأنواع الطبيعية)، فلا فيزياء ما دون الذرة ولا علم الكونيات يمكن أن يكون ممكنًا كمباحث من العلم التجريبي.

---

(١) الجوهر التجريبي – وفقًا للوك – هو مجموعة من الخصائص توجد باستمرار معًا، ويكون مفهوم حامل هذه الخصائص مفهومًا ميتافيزيقيًّا. انظر: **Locke 1689, Book II, Chap. 23.**

مكتبة الفكر الجديد

من الجلي أن مقاييس الكميات الفيزيائية هي بالمعنى الكانطي شروط أولية للفيزياء بوصفها علمًا تجريبيًّا. قُمت في الفقرة (١-٥) بتصنيف المعايير القياسية للفيزياء بين المبادئ المنهجية الضرورية للفيزياء التي تُمثل قوام الخبرة الفيزيائية. ويصدق هذا على كل مناهج القياس بشكل منفرد. إن مقاييس الكميات الفيزيائي توحد – مع ذلك – مناهج القياس المختلفة في الفيزياء. من هنا فإنها ليست أولية بالمعنى الكانطي لمبدأ العلية أو المبدأ الآخر للفهم الخالص. إنها أولية بالطريقة نفسها التي يكون بها مبدأ وحدة القوانين التجريبية في الطبيعة أوليًّا وفقًا لنقد ملكة الحُكم. ففي سبيلنا لإقامة مقياس للطول، والزمن، والكتلة، فإننا نُدرك الطبيعة كما لو كان ثمة متصل من الخصائص الفيزيائية. فلا أحد يضمن أن إقامة هذه المقاييس لا ينتهج مقياس بلانك مثلاً. ولكن إذا ما انتهكته في موضع ما، فإن الوحدة السيمانطيقية للفيزياء تتحطم على المقياس، ومعه إمكانية الفيزياء بوصفها علمًا تجريبيًّا على وجه التحديد.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الثاني

توسيع مدى الواقعية الفيزيائية

يرتكز العلم الحديث على تفاعل مُعقد بين النظرية والتجربة. وينشأ عن الطريقة التي يقوم بها هذا التفاعل توسيع مدى الواقعية الفيزيائية فيما وراء العالم القابل للملاحظة النزاع بين جاليليو وخصومه الأرسطيين، وهو ما غذى السجال الأخير بشأن الواقعية العلمية حتى اليوم. ومن أجل التوصل إلى فهم أفضل للمشكلات التي يشتمل عليها السجال حول الواقعية دون الذرية، فإن هذا التفاعل يجب أن يخضع للتحليل بشكل أكثر تفصيلاً. وعلى وجه الخصوص فإن السمات البنائية للفيزياء الحديثة يجب أن يتم بحثها. إن البناء الكلاسيكي للواقعية دون الذرية اتضح أنه أقوى مما ينبغي. وهذه نقطة في صالح البنائية (حتى إن كانت البنائية كموقف فلسفي لا تستطيع مجاراة النجاحات التجريبية للفيزياء الحديثة وآليات التصحيح الذاتي المتأصلة في صياغة النظرية).

إن المناهج التجريبية والرياضية للفيزياء الحديثة وثيقة الصلة بالافتراضات الميتافيزيقية التقليدية المُسبقة للنظريات الفيزيائية المعروضة في الفصل الأول. إنها تهدف إلى تفكيك الظواهر الطبيعية وتجميعها، وتعتمد على قابلية العوامل العلية للفصل في الطبيعة. تتناول الميتافيزيقا التقليدية هذه العوامل العلية من خلال فكرة الجوهر. لقد رأينا بالفعل أن هذا المفهوم قد

مكتبة الفكر الجديد

صنع من أجل مجاراة مجال الفيزياء الكلاسيكية، على حين يصبح الأمر مثيرًا للمشاكل إلى حد بعيد في مجال الكم؛ لذا فإن الفصل الحالي يتناول المشاكل التي ظهرت في الفصل الأول من خلال مناقشتها الآن في سياق الجوانب المنهجية. وفي هذا الصدد، فسوف يتم أخذ العديد من الاعتراضات ضد الواقعية العلمية في الاعتبار بشكل أكثر تفصيلاً. فبعضها ينجم عن التجريبية، والبعض الآخر عن المواقف البنائية. إن بعضها عام تمامًا، والبعض الآخر وثيق الصلة بالبنية الخاصة بقوانين مجال الكم. إنها تشترك في الانتماء إلى التقليد الأرسطي بشكل أو بآخر. إنها تعارض الطريقة التي توسع بها الفيزياء الحديثة من مجال الواقعية الفيزيائية.

تُدعى الفيزياء الحديثة بالعلم الجاليلي. ابتكر جاليليو الطريقة المحددة التي تقوم الفيزياء من خلالها بتوسيع مدى الواقعية التجريبية من خلال التجربة والتقنيات الرياضية. يرتكز العلم الجاليلي على ثلاث دعائم:

١- تطبيق الرياضيات.

٢- الأداء النسقي للتجارب.

٣- استخدام أجهزة الملاحظة.

لقد تم بالفعل استخدام الرياضيات في العلم الطبيعي القديم؛ أعني في علم الفلك البطليموسي والاستاتيكا الأرشميدسية. كان جاليليو أول من طبق ذلك على الحركات الأرضية من أجل بحث الظواهر الميكانيكية. لقد قام بقياسات الحركات الميكانيكية وعبر عن نتائجها من خلال كميات كينماتية(*)

(*) متعلق بعلم الحركة المجردة. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

من قبيل السرعة والعجلة. قام نيوتن بإضافة كميات دينامية مثل الكتلة. تم تصميم التجارب من أجل وضع شروط معيارية يتم أداء القياسات في ظلها. لقد بحثوا الظواهر تحت شروط اصطناعية مُعرفة جيدًا من أجل قياس كمياتها الفيزيائية. طور جاليليو ونيوتن طرقًا جديدة للتحليل التجريبي ترتكز على النماذج الرياضية للظواهر. إن أجهزة الملاحظة حيل تكنولوجية. أتاح تليسكوب جاليليو أقمار المشترى وأوجه الزهرة للرؤية، ولكن بالنسبة إلى خصومه الأرسطيين فكان التليسكوب أداة مصنوعة لا تخدم ملاحظة الظواهر الطبيعية. من هنا استفادت التجارب من الحيل التكنولوجية. إنها تُقدم الملاحظة والقياس جنبًا إلى جنب، كما أنها تمد العلم الحديث بأجهزة ملاحظة جديدة وشديدة التعقيد من قبيل الميكروسكوب الإلكتروني أو حزم أشعة الجُسيم ومجسات فيزياء الطاقة العالية المعاصرة.

يهدف العلم الجاليلي إلى الموضوعية العلمية ولكنه يدفع ثمنها. فعلى نحو ما رأينا في الفصل السابق، تعرض الفيزياء وحدة سيمانطيقية يتم التعبير عنها من خلال كميات فيزيائية. إنها تحقق الموضوعية عبر إجراء القياسات والتعبير عن نتائجها من خلال كميات من قبيل الطول، والزمن، والكتلة، والطاقة، والشحنة، ودرجة الحرارة وهكذا. إن هذه الكميات تحل محل الكيفيات الذاتية لإدراكاتنا الحسية. أكد ماكس بلانك أن هذا الإحلال عملية من نزع الصبغة البشرية، يُعوض فيها خسارةَ ما ندركه من كيفيات حسية مباشرة مكسبُنَا في الحصول على واقعية رياضية أصيلة فقرة (٢-١). وفي واقع الأمر فإن منهج جاليلو التجريبي فُصل من أجل تطبيق الرياضيات على الظواهر. وتأتي عملية صياغة الظواهر في الصيغة الرياضية عبر خطوات

مكتبة الفكر الجديد

عديدة. إنها تتأسس على ما يُدعى بالأمثلة الجاليلية Galilean idealization، وينتج عنها ظواهر معيارية ونتائجها. تهدف التجربة في المقام الأول إلى تفكيك الظواهر وتجميعها؛ أي العمل على التحليل التجريبي. دعا جاليلو إلى تفكيك الظواهر بالمنهج التحليلي-التجميعي وتجميعها [1]. مثل المنهج التقليدي للتحليل والتركيب خلفية المنهج التجريبي لديه. من ناحية يهدف التحليل التجريبي إلى معايرة الظواهر. كما يهدف من ناحية أخرى إلى التحليل العلي (الفقرة ٢-٢). إن التساؤل حول ما إذا كنا نكتشف الظواهر التجريبية أو نشيدها، وما إذا كنا نكشف عن عللها أو نخترعها، تمت مناقشته في العديد من السياقات الفلسفية. وفي الفقرة (٢-٣) نناقش ونمحص بعض الحجج البنائية الحديثة ضد واقعية النتائج التجريبية ووجود عللها خارج سياق التجربة. وهنا تصير الواقعية العلية أمرًا حاسمًا (فقرة ٢-٤).

تُعد التجربة إحدى وسيلتين لتوسيع مدى الواقعية التجريبية، على حين تُمثل الملاحظة عن طريق الأدوات التقنية الوسيلة الأخرى. إلا أن امتداد الواقعية التجريبية إلى النطاق الكمي يحمل عبء سد فجوات المفاهيم بين الفيزياء الكلاسيكية ونظرية الكم. إن أجهزة الملاحظة المستخدمة في الفيزياء دون الذرية ليست فقط أكثر تعقيدًا من تليسكوب جاليليو. إنها تقوم أيضًا بتوظيف التقنيات شديدة التطور التي يتم استخدامها بالتوافق مع فيزياء الكم. ومع ذلك ينبثق مفهومنا للملاحظة عن عالم كلاسيكي. ما الذي نلاحظه وبأي

---

(١) انظر: Losee 1993, 57-62. للتجربة غرضها: إنها تهدف إلى دراسة الطبيعة بشكل مستقل. على حين يكون اختبار الفروض النظرية خطوة ثانية في التفاعل بين النظرية والتجربة.

مكتبة الفكر الجديد

معنى نلاحظ عبر الميكروسكوب الإلكتروني أو كشاف الجُسيمات مثلاً؟ وإلى أي مدى يُمكن تعميم التفسير التجريبي التقليدي للملاحظة ليشمل مجال الكم (فقرة ٢-٥)؟ ومع ذلك يظل الزعم بأن كشاف الجُسيمات يفيد في ملاحظة الجُسيمات أمرًا مثيرًا للجدل إلى حد بعيد؟ تُرى ما هوية ذلك الجُسيم دون الذري الذي يمكن ملاحظته؟ ترتبط المشكلة على نحو وثيق الصلة بالتساؤل حول ما إذا كان ممكناً تأسيس موضوعات في مجال الكم. بطريقة أو بأخرى يحالف التجريبي الصواب في رفضه الحديث حول الموضوعات النظرية. ومع ذلك فإن هذا لا يُسلمنا إلى تفسير تجريبي صارم للمحتوى التجريبي للنظريات. وفي الحالة الحاسمة لمسار الجُسيم، يكون المحتوى التجريبي للنموذج النظري بناءً كلاسيكيًا غير متوافق مع نظرية الكم (فقرة ٢-٦).

٢-١ عرض الكميات الفيزيائية

لا يجب أن تعتمد المعرفة الموضوعية على ملكاتنا الإدراكية الذاتية والشروط الأبستمولوجية. من هنا فإن الزعم بأن العلم يهدف إلى الموضوعية يعني أنه يهدف إلى التخلي عن ذاتية المُلاحظ. إنه يركز على الموضوعات التى تؤخذ مستقلة عن وجهة النظر الذاتية للمُلاحظ. إن الإجراءات الرياضية والتجريبية للفيزياء تسوقنا بعيدًا عن فهمنا العادي للواقعية، وبعيدًا عن الخبرة الكيفية المعتادة عن الأحداث التى تجرى من حولنا، وبعيدًا عن اللغة الطبيعية التى نُعبر من خلالها بشكل طبيعي عن خبراتنا وإدراكاتنا الحسّية.

مكتبة الفكر الجديد

لقد تم تطوير مناهج القياس من قبل إجراء أي تجربة في الفيزياء الحديثة، من أجل التوصل إلى معايير موضوعية للطول والزمن والوزن. كانت القياسات – في أول الأمر – مبنية على المعايير البشرية ولكن في خلال الثورات العلمية التى نتج عنها ظهور العلم الحديث، بُذلت جهود كثيفة لمعايرتها. ومع ذلك بقيت بعض السمات الأساسية نفسها للقياس منذ أيام الهندسة القديمة. يضرب القياس بجذوره في المقارنة[1]. فأن تقيس يعني أن تقارن موضوعًا أو عملية، أو إحدى خصائصها الفيزيائية، بمعيار مثل المعيار المتري. فيؤخذ المعيار وحدة للمقياس. ويتم التعبير عن الخصائص المقاسة من خلال هذه الوحدة. إنه لأمر حاسم أن نقارن الكثير من الموضوعات أو العمليات بالوحدة نفسها. فتناظر خصائصها الفيزيائية مضاعفات الوحدة؛ أي تناظر كميات يتم التعبير عنها من خلال أعداد على المقياس. فيناظر العدد على المقياس خصيصة فيزيائية، كما يناظر في واقع الأمر كل الموضوعات أو العمليات التي تحوز هذه الخصيصة.

من هنا يفيد القياس في تشكيل تصنيفات معرفة جيدًا من الموضوعات أو العمليات الفيزيائية. ويناظر كل تصنيف من الموضوعات أو العمليات خاصية فيزيائية، ولتكن خاصية الطول بمقدار ١ سم، أو البقاء لمدة ٣ نانو ثانية، أو درجة الحرارة بمقدار ٣ كلفن. وتناظر الخاصية الفيزيائية تصنيف الموضوعات أو العمليات التي تتشارك في الخاصية. إن كل تصنيفات النتائج التجريبية يتم التعبير عنها من خلال أعداد حقيقية وأبعاد تخص الكمية موضع البحث من قبيل الطول، والزمن، والكتلة، ودرجة الحرارة. ويعبر كل عدد

---

(١) انظر: **Carnap 1966, Part II**، والملحق (أ).

مكتبة الفكر الجديد

حقيقي عن خاصية فيزيائية من خلال مضاعفات وحدة المقياس المناسب. يتراوح مدى المقياس من صفر إلى ما لا نهاية. إنها تعبر عن تصنيف من الخصائص الفيزيائية، مثل كل قيم الكتلة الممكنة. إنها تناظر كل الخصائص الفيزيائية من هذا النوع[١]. ويمثل مقياس الكتلة الكمية الفيزيائية للكتلة. إن مقياس الكتلة هو التصنيف المجرد من كل تصنيفات الأجسام المادية ذات الوزن المعادل.

من هنا تتمتع الكميات الفيزيائية بسمة مجردة ورمزية، على النحو الذي أكده بيير دوهيم تحديدًا[٢]. إنها رمزية من حيث إنها مفاهيم تشير إلى موضوعات وعمليات فيزيائية. إضافة إلى ذلك فإن معنى مفهوم فيزيائي مثل "الكتلة" هو مجرد للغاية. إنه لا يكمن في الموضوعات العينية ولكنه يكمن في فئة من الخصائص الفيزيائية مع مقياس كامل من القيم العددية المناظرة. وكل قيمة مقاسة تناظر بدورها فئة من الموضوعات أو العمليات العينية التي تعرض الخصائص الفيزيائية نفسها. إن السير على خطى تفسير فريجه للأعداد كمفاهيم من الدرجة الثانية[٣]، يؤدي إلى أن تكون الكميات الفيزيائية مفاهيم من الدرجة الثانية أيضًا[٤]:

---

(١) تكون الخصائص الفيزيائية من النوع نفسه إذًا، وإذا فقط ما أمكن إضافتها، مثل كُتلتي جسمين. أما الخصائص الفيزيائية مختلفة الأنواع فيمكن ضربها في بعضها، وإنتاج خصائص جديدة، من قبيل السرعة، وكمية الحركة، والطاقة، ... إلخ. وينشأ عن ذلك جبر الكميات الفيزيائية والمُبرهنة الثانية للتحليل البُعدي؛ انظر الملحق (ب) وأيضًا:
Krantz et al. 1971, Chaps. 8 and 10.

(٢) انظر: **Duhem 1906**.

(٣) انظر: **Frege 1884**.

(٤) انظر المُلحق (أ).

مكتبة الفكر الجديد

١- تناظر كل قيمة عددية لكمية فيزيائية فئة من الظواهر الفيزيائية المادية التي يعطيها منهج قياس مُعطى، مع وجود هوامش خطأ معينة، نتائج القياس نفسه.

٢- الكمية الفيزيائية – صوريًّا – هي دالة تقوم بربط فئة من الخصائص بمجموعة الأعداد الحقيقية الموجبة[١]. وهذه المجموعة – المقياس المُدرج لكمية ما – تكون مُعرفة فحسب في حدود اختيار الوحدة.

لذا فإن كل مفهوم لكمية فيزيائية يُشير إلى فئة من فئات الظواهر الفيزيائية المادية – أو إلى فئة من الخصائص الفيزيائية تُشَكل مقياس الكمية. يعتقد معظم الفيزيائيين أن صياغة مثل هذه الفئات في الفيزياء يستند إلى الخصائص الفيزيائية الأساسية التي تنتمي إلى الأنواع الطبيعية، وكيانات مثل الذرات، وجُسيمات أولية، أو ثقوب سوداء لا يُمكن إخضاعها للملاحظة المباشرة. وهذا موقف جوهري يُشير فيه مفهوم الكمية الفيزيائية إلى الخصائص الجوهرية (أو الكيفيات الأولية[*]) للأنواع الطبيعية، أي الكيانات التي تمثل العلة النهائية في حدوث الظواهر الطبيعية وفقًا لخصائصها ذات

---

(١) ينطبق هذا فحسب على الفيزياء الكلاسيكية إضافة إلى نظريتي النسبية كلتيهما. أما في النظريات الكمية، فإن الكميات لا تأخذ قيمًا واقعية، ولكن قيمًا عاملة.

(*) يُنسب التمييز بين الكيفيات الأولية **Primary Qualities** والكيفيات الثانوية **Secondary Qualities** إلى الفيلسوف جون لوك. والكيفية الأولية هي صفة للشيء تبدو ظاهرة بشكل واضح بمعزل عن إدراك الإنسان لذلك الشيء. بينما تعتمد الكيفيات الثانوية للشيء على الإدراك الحسي للفرد. المثال التقليدي على الأولى في مقابل الثانية هو الشكل في مقابل اللون. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

الصلة. ومع ذلك يمكن أيضًا تعريف فئة الخصائص المناظرة لمفهوم الكمية الفيزيائية تعريفًا إجرائيًّا – دون أي ميتافيزيقا جوهرية – عن طريق ربطها بالقياس. وهذا يتطلب تعريف سلسلة من طرق القياس المؤسسة جيدًا عبر طرق يمكن بمقتضاها فهم مقياس الكمية فهمًا كاملاً[١].

على نحو مغاير يُعرف كل منهج قياس نوعًا متفردًا من الكمية – وفقًا لإجرائية بريدجمان الجذرية[٢]. فيُظهر موقفه أن المفهوم الإجرائي لمقياس ما يظل مؤسسًا على الميتافيزيقا. وتكون صياغة مقياس ما هي إلا بناء نظري على وجه التحديد. يُفترض أن مناهج القياس المتميزة تقيس نوع الخاصية الفيزيائية نفسه حين تتعامل مع وحدات مختلفة مثل الطول، أو الزمن، أو الكتلة، أو درجة الحرارة. تؤسس المقاييس من مقياس بلانك وحتى حجم الكون كما لو لم تكن ثمة فجوة من حيث المفاهيم بين مجال الكم والعالم الكلاسيكي. تُمثل مقاييس الكميات الفيزيائية العالم العقلي النظري للفيزياء الحديثة تمامًا كما لو لم تكن ثمة مثل هذه الفجوة. إن بناء هذا العالم العقلي النظري يتأسس على افتراض ميتافيزيقي حاسم. فيستفيد من اعتقاد نيوتن أن "الطبيعة متوافقة مع نفسها للغاية"[٣]. يرتكز هذا البناء على الثقة في أن تأسيس وحدة سيمانطيقية للفيزياء لا ينشأ عنه تناقض[٤].

---

(١) انظر: Falkenburg, 1997، والملحق (أ).

(٢) انظر: Bridgman 1927.

(3) Newton 1730, Query 31.

(٤) سوف أعود إلى مناقشة هذه المُشكلة في الفصل الخامس، بعد مناقشة مناهج القياس النمطية لفيزياء الجُسيمات في الفصلين الثالث والرابع.

مكتبة الفكر الجديد

لا يعتقد دوهيم سواء في الأنواع الطبيعية ولا في وحدة الطبيعة. فقد دافع عن تفسير ضد–ميتافيزيقي للغة المجردة والرمزية للكميات الفيزيائية. بحسب دوهيم فإن المفاهيم والقوانين والنظريات الفيزيائية لا تُمثل الأشياء أو الأحداث كما الأوركسترا. كما أنه لم يعتبرها عناصر للوصف الصادق لواقع فيزيائي ينبع في الأساس من الظواهر القابلة للملاحظة على هيئة خصائص جوهرية وعلل حقيقية[1]. من وجهة نظر دوهيم فإن المفاهيم المجرة للنظرية الفيزيائية مجرد وسائل، إنها أداة للتوحيد والتنبؤ. فأكد أن تعريفاتها دائمًا ما تشتمل على درجة معينة من الاعتباطية، وأنها تهدف في المقام الأول إلى جمع –قدر ما تستطيع– أكبر عدد من الظواهر المتميزة كيفيًّا – بأكثر الطرق اقتصادًا – في حزمة واحدة. بالنسبة إلى المسألة الأولى فقد مال تجاه رؤية بوانكاريه الاصطلاحية للفيزياء. على حين كان قريبًا في المسألة الثانية من وجهة نظر إيرنست ماخ التجريبية للنظريات الفيزائية. لا تهدف النظريات الفيزيائية – وفقًا لماخ – إلا إلى أمْثَلَة اقتصادية للظواهر التجريبية، ولا ينتمي افتراض وجود الذرات إلى أمْثَلَة اقتصادية من هذا القبيل.

على النقيض من ذلك دافع مؤسسو فيزياء القرن العشرين عن الواقعية الفيزيائية. فقد كانوا على قناعة بأن الكميات والنظريات الفيزيائية تستهدف الخصائص الجوهرية والسمات البنيوية للأشياء والعمليات العلية في الطبيعة. لقد كان كل من "بولتزمان" و"أينشتين" و"رذرفورد" و"بور" علماء ذرة، ساهم

---

(١) في إطار القاعدة الأولى لنيوتن من قواعد التفكير في الفلسفة (Newton 1729, 398 and 1687, 794).

مكتبة الفكر الجديد

كل منهم تحديدًا بصفة شخصية فى مجال أبحاث الذرة[1]. نأى ماكس بلانك بنفسه وبحسم – في محاضرته عن وحدة المنظور الفيزيائي للعالم ١٩٠٨ – عن تجريبية ماخ والتصور الظاهراتي للفيزياء، وقام بعرض رؤية واقعية وجوهرية – إن لم تكن أفلاطونية – للغة المجردة للنظرية الفيزيائية. تهدف صياغة المفاهيم الفيزيائية – وفقًا لبلانك – إلى تحرير فهمنا للطبيعة أكثر فأكثر من المفاهيم المؤنسنة.

على هذا النحو فقد حررنا تطور المفهوم الكلاسيكي للقوة في الميكانيكا الكلاسيكية من فكرة القوة الفيزيائية التى يجب تطبيقها من أجل بذل الشغل[*]، على سبيل المثال، عندما نريد أن نرفع جسمًا[2]. لا يعتبر بلانك – على خلاف ماخ – المسافة المتزايدة بين النظرية الفيزيائية والخبرة الحسية المباشرة خسارة، بل مكسبًا، أو بعبارة أكثر ملائمة، هى المكسب فى عينه الذى يتجاوز بمراحل ما قد يرتبط به من خسارة:

---

(١) انظر: Scheibe 2001.

(*) الشغل work في الفيزياء: هو كمية الطاقة المتحولة لتحريك جسم بتأثير قوة ما لمسافة معينة. ومن الممكن أن ينعدم الشغل حتى في حالة وجود قوة مؤثرة، مثل القوة الطاردة المركزية في الحركة الدائرية لجسم حيث ينعدم الشغل نتيجة عدم تغير طاقة حركته، ومثال آخر عند وضع كتاب على منضدة؛ فالمنضدة لا تبذل شغلاً على الكتاب على الرغم من وجود قوة رد فعل منها عليه مساوية لوزنه وفي عكس اتجاهه؛ لأنه لم يتم نقل طاقة من الكتاب أو إليه . ويُمكن تعريف الطاقة بوصفها القدرة على أداء الشغل. ووحدة قياس الشغل الفيزيائي حسب النظام العالمي للوحدات هي الجول(Joule) ، ذات الرمز"J" ، كما يرمز للشغل بالحرف"W". (المترجمان)

(2) Planck 1965, 30.

مكتبة الفكر الجديد

"إذا ما نظرنا وراء إلى الماضي، فممكن أن نخلص إلى القول: إن بصمة التطور الماضى للفيزياء النظرية هو توحيد لنظامها تم تحقيقه من خلال تحرر من نوع ما من العناصر المؤنسنة، وخاصة الإحساسات [...] وبالتأكيد، فالمزايا يجب أن تكون بالغة القيمة، إذا ما استحقت تلك التضحية الأساسية خاصة!"(١).

وتكمن "المزايا بالغة القيمة"، كما استرسل "بلانك" فى التوضيح، فى زيادة وحدة المنظور الفيزيائي للعالم. ويعنى هذا – بالنسبة إليه – ما هو أكثر بكثير من مجرد الاقتصاد في التفكير فى تصور "ماخ". فهو يؤكد أن توحيد النظريات يؤدى الى شمولية فيزيائية. والوحدة المفهومية لنظرية شاملة – تلك النظرية التى تستند فقط إلى أسس قليلة التى تكون أكثر تحررًا قدر الإمكان من الظروف المعينة التى ندرك من خلالها الظواهر الطبيعية – تجعل من نتائج البحث الفيزيائى مستقلة عن المكان والزمان، وعن فردية الباحث، وعن الأمة والثقافة(٢). وطبقًا لـ"بلانك"، فالمنظور الموحد للعالم يفوق على نحو نهائي فكرة ضبط نظرياتنا على الوقائع، على النحو الذي طالب به ماخ(٣). إن الشمولية الفيزيائية إذ تحرر ما لدينا من معرفة علمية من عوارض الوجود الإنساني، تؤدي إلى ظهور واقع ثابت خلف المتغيرات والظواهر الحسية المتشعبة:

---

(1) Planck 1965, 31. من ترجمتي

(2) Planck 1965, 45.

(٣) انظر: Mach 1926, 164.

مكتبة الفكر الجديد

"كما حاولت أن أوضح، فالمنظور الثابت الموحد للعالم هو على وجه التحديد الهدف الثابت الذي ينشده العلم الطبيعي، بكل تحولاته. [...] وهذا الثابت المستقل عن أي فردية إنسانية أو بالأحرى عقلية، هو تحديدًا ما ندعوه بالواقعي[1].

تتكون اللغة الرمزية للفيزياء – وفقًا لدوهيم – من مجرد رموز تبتعد عن الواقعية. تحقق هذه اللغة – وفقًا لماخ – أفضل ضبط ممكن لأفكارنا على الوقائع مع دفع ثمن التجريد، والتبسيط، ورسم المخططات، والأمْثَلَة [2]. من ناحية أخرى يرى بلانك أن هذه اللغة هي ما تؤدي أولاً إلى إدراك الواقع الثابت.

من الجلي أننا نجد أنفسنا هنا إزاء مفاهيم معاكسة بكل ما في الكلمة من معنى لما هو واقعي. تكمن الواقعية وفقًا لدوهيم وماخ في الظواهر التي يمكن ملاحظتها دون وسيط. ويُعرفها دوهيم – الفيزيائي التجريبي – بالنتائج الملاحظاتية التي نحصل عليها عبر تجارب الفيزياء. على حين يراها ماخ، الظاهراتي، في العناصر الأساسية لإحساساتنا – في ذرات الحس؛ لذا يمكن القول: إنها بديل الذرات الفيزيائية لبولتزمان، أو بلانك، أو أينشتين، أو رذرفورد، أو بور[3]. ومع ذلك يرى بلانك أن ثمة واقعية ثابتة توجد خلف العرض المتغير للظواهر التي تصل إلينا عبر الإدراك الحسي. إذ إن هذا

---

(1) Planck 1965, 49.
(2) See Mach 1926, 455.
(٣) من الجلي أن ظاهراتية ماخ أكثر أصولية من أداتية دوهيم أو النُسخ الحديثة من ضد– الواقعية العلمية. تَبَنَّى هذه الوجهة من النظر كارناب في كتابه **"Der logische Aufbau der Welt"** ، ولكنها نُبِذَت فيما بعد من قبل تجريبية القرن العشرين.

مكتبة الفكر الجديد

العرض للظواهر الحسية مشروط، من ناحية بملكاتنا الإدراكية التي يتعين على الفيزياء أن تحرر نفسها منها قدر الإمكان، ومن ناحية أخرى بالقوانين الثابتة لواقعية ضمنية، والتي لا يمكن فهم تكوينها إلا عبر هذا التحرر.

لذا فإن التعارض الذي عرضنا لها بين واقعية بلانك العلمية وتجريبية ماخ أو موقف دوهيم الأداتي يضرب بجذوره في مناهج الفيزياء الحديثة وأهدافها. تهدف اللغة المُجردة للكميات الفيزيائية إلى تأسيس موضوعية علمية. ولكن ما مُنجزات هذه الموضوعية العلمية؟ هل تكشف عن واقعية فيزيائية مستقلة تُشكل أساسًا للظواهر؟ أم هل تستبدل البناءات الرياضية بالظواهر؟

٢-٢ الأمْثَلَة والمنهج التجريبي

ليست القياسات هي الطريقة الوحيدة لصياغة الظواهر رياضيًّا؛ إذ إنها تسير جنبًا إلى جنب مع العديد من الأنواع الأخرى للأمْثَلَة. ففي السجال بشأن الواقعية العلمية، نجد أن القياسات بأسرها موضع الشك في ابتعادها عن الواقع التجريبي بدلاً من الكشف عن القوانين الصادقة للطبيعة. ويُظهر تحليلاً أعمق أن بعض أنواع الأمْثَلَة تكون على نمط العلم الجاليلي والنيوتوني، على حين كانت بعضها كذلك من قبل. تقترح الدراسة التي قام بها ماكمولين لرموز الأمْثَلَة الجاليلية التمييزات التالية [1]:

---

(1) McMullin 1985.

إنني أتوسع في تصنيفه عبر أخذ القياس في الحُسبان، مع تغيير طفيف في المُصطلحات المُستخدمة. انظر أيضا: **Hiittemann 1997, 86-104**. إن الأمْثَلَة=

مكتبة الفكر الجديد

١- الأمْثَلَة الرياضية. فرض الصورية الرياضية على الظواهر:

- القياس.
- الوصف الرياضى.

٢- إنشاء النموذج. إحلال نموذج بسيط محل موضوع معقد:

- أمْثَلَة صورية، أو تمثيل مناسب.
- أمْثَلَة مادية، أو تجريد.

٣- التحليل العلي. إحلال نموذج علي بسيط محل عملية معقدة:

- تحليل تجريبي.
- تجارب ذهنية.

إن الأمْثَلَة الرياضية بالغة القدم. فيعود إجراء التجارب وتقديم التوصيفات الرياضية لظواهر معينة إلى أيام علوم الهندسة والفلك قديمًا. إن نوعى الأمْثَلَة الرياضية كليهما يمكن أن يأتيا بشكل أكثر أو أقل دقة. وكثيرًا ما ترتكز التوصيفات الرياضية على التقريب وإجراءات التصحيح. فطالما كانت عملية التقريب الفكرة الأساسية بالفعل خلف النسق الفلكي المُعقد البطلمي. وأى انحرافات ملاحظة عن المسارات الكوكبية محل التنبؤ كان يتم رصدها من خلال أفلاك التدوير(*) ومركز الدائرة المرسومة خارج مثلث

="الصورية" و"المادية" لدى ماكميلان تُناظر الأمْثَلَة عند هوتيمان بالمعنى الضيق (وهو ما أُسميه فيما يلي بـ"الأمْثَلَة المُناسبة")، و"التجريد". إن أيًا من هذه التمييزات ليس حاسمًا. إنها تُعطي صورة مبدئية للأشكال المتعددة التي لا تتوافق بها البُنى الرياضية مع الظواهر التجريبية التي تحل محلها.

(*) فلك التدوير: دائرة صغيرة يدور مركزها على محيط دائرة أكبر منها. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

وما إلى ذلك. وبحسب تحليل "فورير" الحديث، فإن أي ملاحظة يمكن أخذها في الاعتبار بالقدر المرغوب فيه من الدقة. ويُظهر هذا المثال أن الأمْثَلَة الرياضية في حد ذاتها لا تُقيم بالضرورة أبنية من الظواهر. يؤكد ماكمولين أن "حد الأمْثَلَة يتناقص باستمرار بقدر ما أصبحت اللغة الرياضية نفسها متكيفة بشكل متزايد مع مرامي" العلوم الطبيعية[1]. يهدف القياس أيضًا إلى إنقاذ الظواهر بالصرامة الرياضية. إلا أن نطاق ما يمكن ملاحظته لم يتزايد بعد عن طريق القياس التقريبي لبعض الظواهر التجريبية بدلالة بعض الوحدات التجريبية المُتاحة (من قبيل المتر المعياري). ومع ذلك فمن الواضح أنه يحقق تقدمًا حين نؤسس مقاييس الكميات الفيزيائية من مقياس بلانك إلى حجم الكون في الفيزياء الحديثة.

ومع ذلك تأتي التوصيفات الرياضية والقياس في العلم الجاليلي معًا بأنماط جديدة من الأمْثَلَة. فيتجاوز تأسيس النموذج، والتحليل العلي، والمنهج التجريبي نطاق ما يمكن ملاحظته.

فيحل تأسيس النموذج محل موضوع معقد عن طريق نموذج ذى بنية بسيطة. إن تأسيس النموذج يأتي على نمط الفيزياء الرياضية نفسه؛ إذ لا يتم تصميم النموذج من أجل تقديم توصيف صادق. ويتم تعمد أن يكون لها بنية تختلف عن الموضوعات المنمذجة. ويتم تأسيسها من أجل الحصول على توصيف رياضي بسيط لموضوعٍ محل بحث. إن الأمْثَلَة الصورية أو الأمْثَلَة الملائمة تجعل من التوصيفات الصورية عملية. يمكن العثور على بعض الأمثلة النمطية في: وصف الميكانيكا الكلاسيكية للأجسام ككتلة نقطية

---

(1) Ibid., 254.

مكتبة الفكر الجديد

والأنساق ذات الجسمين بدلالة الكتلة المفقودة. يقوم النموذج الذري لبور باستخدام تقريب الكتلة اللامتناهية لنواة الذرة ويتجاهل الآثار النسبوية. تتعامل الديناميكا الكهربية الكلاسيكية مع عدد لا متناه من الأسلاك أو ألواح التكثيف من أجل تبسيط شروط التحديد لمعادلات ماكسويل وإتاحة عدد من الحلول يمكن إحصاؤه. وفي مثل هذه الحالات يصير النموذج أكثر بساطة صوريًّا من الموضوعات المنمذجة. وعلى خلاف الأمْثَلَة الصورية، نجد أن الأمْثَلَة المادية أو التجريد طريقة لإهمال خصائص فيزيائية معينة، أو جوانب مادية أو بُنى داخلية للموضوعات محل البحث. لا تُعين النظرية الحركية البنية الداخلية لجُزيئات الغاز. بطريقة مماثلة لا يأخذ نموذج رذرفورد لتشتت جسيمات "ألفا" على شريحة الذهب في اعتباره حجم نواة الذرة. وفي كلتا الحالتين يمكن تصحيح ذلك عبر نماذج أكثر تعقيدًا للموضوعات موضع البحث. ففي حالة تشتت رذرفورد يتم هذا عن طريق إدخال مُعاملات الشكل إلى جهد "كولوم" البسيط[1].

ويمكن تنقيح الأمْثَلَة شديدة الفجاجة في تأسيس النموذج عبر عملية عكسية من نزع الأمْثَلَة. فيبدأ المرء من أكثر البُنى أو توصيفات الأنساق بساطة وينظر إلى أي مدى تُفسر الظواهر ذات الصلة. ويكون النموذج جيدًا إذا ما أمكن تحسينه عن طريق إجراء التصحيحات. ويعني هذا أنه تتم إضافة مواصفات خصائصها غير المتعينة. فإذا ما كان النموذج جيدًا، فلن تكون هذه الإضافات ذات صلة، وسيؤدي النموذج المُخصص تنبؤات مُحسنة. وبهذه الطريقة، يعقب عملية الأمْثَلَة إعادة بعض السمات المحذوفة للموضوع

---

(١) انظر الفصل الرابع.

مكتبة الفكر الجديد

موضع البحث، أي عبر نزع الصبغة المثالية عنه. ويُبرر هذا الإجراء النجاح التجريبي. يذهب ماكمولين إلى أن تأسيس النموذج عبر سبل الأمْثَلَة ونزع الأمْثَلَة هو "حامل-للصدق بمعنى قوي للغاية"؛ وتُظهر التحسينات أن للنموذج "سبل تصحيح-ذاتي تُمثل أفضل بينة على الصدق"[1]. لذا فإنه يرى أن تأسيس النموذج يكون على قدم المساواة مع التوصيف الرياضي. وتشبه عملية إعادة بعض العناصر المحذوفة عملية التقريب. وتُتيح عملية نزع الصبغة المثالية رصد الظواهر بشكل أكثر دقة وخطوة بخطوة.

يختلف التحليل العلي عن ذلك وفقًا لماكمولين؛ إذ يهدف إلى تفكيك العوامل أو الأدوات العلية الفردية التي تنشأ عنها عملية علية مُعقدة. يستند التحليل العلي إلى الأمْثَلَة أيضًا؛ إذ يرتكز على الافتراضات التالية:

١- تعمل العوامل العلية المختلفة عملها بشكل مستقل.

٢- بعض من هذه العوامل ذو صلة وبعضها يمكن تجاهله.

٣- يُمكن عزل العوامل العلية ذات الصلة.

٤- تتضافر تأثيرات هذه العوامل خطيًّا.

يتم تنفيذ التحليل العلي في التجارب الواقعية وأيضًا في حالة التجارب الذهنية. تستقصي التجارب الواقعية عوامل علية مختلفة وتجميع آثارها تحت الظروف التجريبية المختلفة. والأمر الحاسم هو تنويع الظروف التي يتم في إطارها تنفيذ التجربة؛ فما من تجربة تأتي بمفردها[2]. تمتحن التجارب

---

(1) Ibid., 264.

(٢) انظر: **Falkenburg and Ihmig 2004**.

مكتبة الفكر الجديد

الذهنية الانسجام الداخلي للتفسيرات العلية. كما أنها يُمكن أن تؤدَّى في الواقع أو لا تؤدَّى. وفي الحالة الثانية تكون مفارقة للواقع(*) counterfactual. يناقش ماكمولين هذه الحالات لأبحاث جاليليو عن سقوط الأجسام الميكانيكية. ينتج عن التحليل العلي التمييز بين السقوط الحر وتأثير مقاومة الهواء. ويتكون التحليل التجريبي من التجارب الشهيرة للسطح المائل والبندول. ويؤكد تنوع الظروف التي يتم تحتها إجراء التجربة فرض أن مقاومة الهواء تعوق السقوط الحر وأن السقوط الحر يسلك وفقًا لقانون التسارع الثابت. ويتم تصميم التجارب الذهنية من أجل بيان أن افتراضات أرسطو بشأن سقوط الأجسام محض هراء وأن الحد من تأثير مقاومة الهواء وصولاً إلى حالة تحييد هذه المقاومة في حالة السقوط في خلاء سوف يجعل من الممكن فيزيائيًّا عزل السقوط الحر كقوة علية وحيدة(١).

هل من الممكن تفسير نتائج الأمْثَلَة العلية من خلال الصدق (التقريبي)، ونتائج العملية التدريجية العلية لنزع الصبغة المثالية من خلال التقريب الآخذ في التحسين؟ يهدف التحليل العلي – وفقًا لجاليليو أو نيوتن – إلى إدراك العلل الحقيقية للظواهر الطبيعية، في إطار القاعدة الأولى من قواعد التفكير عند نيوتن(٢). الواقعية العلية – وفقًا لماكمولين – بعيدة عن أن تكون واضحة؛ إذ يلاحظ أن:

(*) عبارة شرطية يكون معلومًا (أو على الأقل يُعتقد) أن الحد الأول فيها منافٍ للواقع. (المترجمان)

(1) McMullin 1985, 266-237, and Galileo 1638.
(2) Newton 1729, 398 and 1687, 794.

مكتبة الفكر الجديد

تعتمد المسألة على التكنيك الذي طالما عُرف بـ"تركيب العلل"، وهو التكنيك الذي استخدمه كلٌّ من جاليليو ونيوتن وإن كان سبَّب لكل منهما المتاعب. [...] وسوف أخلُص إلى أن النجاح الباهر للعلوم الطبيعية منذ عصر جاليليو يوفر بينة كافية على قيمة تكنيك الأمْثَلَة العلية [...].

في واقع الأمر لا تدعُم هذه النتيجة الواقعية العلمية. إذ تُعبر عن تفسير أداتي للعوامل العلية التي تنبثق عن التحليل العلي والمنهج؛ التجريبي لجاليليو. تُدافع حجج ماكمولين عن الواقعية البنيوية فيما يختص بالأمْثَلَة الرياضية وتأسيس النموذج، إلا أنها لا تدافع عن الواقعية العلية فيما يختص بالعلل التي تقف وراء الآثار التجريبية. فهل هو محق في ذلك؟

يهدف منهج جاليليو التجريبي – مثل القياس – إلى تأسيس موضوعية علمية. إنه يهدف – مثله في ذلك مثل الكميات الفيزيائية – إلى صياغة الظواهر رياضيًّا. دعونا نلقي نظرة عن كثب على الطريقة التي يعمل بها. إنه يهدف إلى عزل جوانب جزئية مُعينة من الظواهر الطبيعية وتحليلها تحت أفضل الظروف المثالية الممكنة. فيتم تصميم التجارب في الفيزياء من أجل الحصول على ظواهر معزولة، ومُطردة، وقابلة للتكرار، ويتم تنويعها بطريقة خاضعة للتحكم. ولا يصير تطبيق الرياضيات على الظواهر الطبيعية ممكنًا إلا عبر تفكيك الظواهر إلى مُكونات قياسية معزولة. أما الأثر القابل

= تم فهم بحث نيوتن عن العلل الحقيقية بشكل كامل في إطار الواقعية العلية، إلا أنه كان في واقع الأمر أكثر حذرًا، انظر ما سيلي.

مكتبة الفكر الجديد

للملاحظة في ترتيب تجريبي ما – من ذلك النوع الذي يُمكن أن ينتج عشوائيًّا في تجربة محكومة – فهو وحده الذي يُمكن تناوله كعنصر من فئة مُعرفة جيدًا من الظواهر الفيزيائية المتجانسة التي تصير آنئذ قابلة للتوصيف الرياضي.

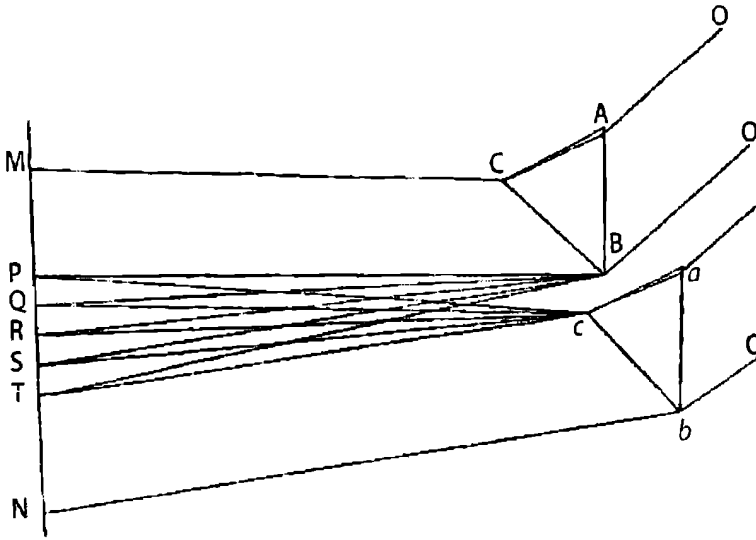
وهكذا يفيد المنهج التجريبي في توليد فئات من الظواهر مُعرفة جيدًا وبحث العلاقات النسقية لعناصرها. وتفيد نتائج التجارب في القياس، إنها تناظر الخاصية المجردة والرمزية للكميات الفيزيائية. تبحث التجارب، إضافة إلى ذلك، التواقف الدالي للكميات الفيزيائية. فيتم تصميم كل تجربة من أجل تفكيك العمليات الطبيعية المُعقدة إلى مُكونات مُحددة، ويتم تنويع تركيباتها بشكل نسقي من أجل قياس القيم العددية والعلاقات الدالية للكميات الفيزيائية. وبهذا النهج تؤسس التجارب ظواهر مستقرة وقوانين ظاهراتية، وهي حين تفعل ذلك؛ تُشكل الموضوعية العلمية.

إن السمات البنائية للمنهج التجريبية هي مما لا يُمكن غض الطرف عنه. يقوم المنهج التجريبي بجعل الظواهر ملائمة لتطبيق الرياضيات وليس العكس. ويؤدي هذا إلى التأسيس المفهومي والفعلي لعوامل علية منفصلة تختص بتوليد ظاهرة ما. ومتى تم اعتبار هذه العوامل العلية قوى علية منفصلة، يُمكن تصورها بالمصطلحات الميتافيزيقية للجوهر والعلية.

لقد رأينا بالفعل كيف يهدف تنويع الظروف التي يتم تحتها إجراء التجربة إلى التحليل العلي. تهدف بعض التجارب أيضًا إلى إعادة تجميع هذه المكونات. يمكن أن نجد في "بصريات" نيوتن قياسًا كيفيًّا بسيطًا من هذا النوع. فيتم تحليل الضوء الأبيض عبر تمريره على منشور. ويتطابق الطيف

مكتبة الفكر الجديد

اللوني الناتج مع الطيف الناتج عن مرور ضوء أبيض عبر منشور آخر مواز. وتكون النتيجة هي إعادة تجميع الضوء الأبيض من الطيفين[1].



شكل (٢-١) التفكيك الطيفي وإعادة تجميع الضوء الأبيض

(نيوتن ١٧٣٠، ص١٤٧)

من وجهة نظر نيوتن، فإن القوى العلية التي تم بحثها في هذه التجربة هي مُكونات الضوء الأبيض. يقوم نيوتن في تحليله العلي للتجربة بتعريف هذه المكونات باعتبارها خيوطًا من الأشعة البيضاء لألوان مختلفة وليست جُسيمات بيضاء. وهو يضع كل الأسئلة الميتافيزيقية بشأن طبيعة الضوء في الجزء الخاص بالتساؤلات في كتابه البصريات. ويغض الطرف في نظرياته الفيزيائية عن القوى العلية للطبيعة طالما أن كمياتها الفيزيائية لم تكن خاضعة

---

(1) Newton 1730.

مكتبة الفكر الجديد

لتحليل وقياس تجريبيين. وبهذا الشكل فإنه يقوم بعقد مصالحة بين عالم من الكميات الفيزيائية وقوله المأثور ذائع الصيت لا توجد فروض(*) hypotheses non fingo(١).

في إطار الفلسفة الطبيعية في القرن السابع عشر، أُطلق على التفكيك العلي والتجميع منهج التحليل والتركيب. كما أُطلق على منهج جاليليو التجريبي المنهج التجميعي–التفكيكي(٢). وفي واقع الأمر فإن التجميع والتفكيك ما هي إلا الكلمات اللاتينية للتعبيرات اليونانية "التحليل" و"التركيب".

(*) لم يقصُد نيوتن بعبارته هذه رفض الفروض من أي نوع، وإنما إنكار الفروض التي هي من قبيل التخمينات والخيالات التي كانت سائدة في العصور الوسطى. يؤكد هذا الفهم وضع عبارة نيوتن في سياقها؛ حيث جاءت في سياق رده على الديكارتيين الذين أخذوا عليه أنه قد أتى في قوله بالجاذبية بفرض يكاد يشبه فروض رجال العصور الوسطى الزائفة، فقال: إنني هنا لم آت بفرض، وأنا هنا لا أفترض فروضًا؛ بل أسير وفقًا للقواعد.

ولقد ذهب مل **Mill** في كتابه "نسق المنطق" إلى أن نيوتن لم يرفض الفروض العقلية التي يمكن التحقق منها؛ بل رفض فحسب تلك الفروض غير القابلة للتحقق، مثل الفروض الميتافيزيقية، أما الفروض التي يمكن التحقق منها فهي خطوة ضرورية لا بد منها لكي يتقدم العلم، وتتضمن نظريات نيوتن كلها فروضًا من هذا القبيل؛ وهذا عين ما ذهب إليه فيلسوف العلم المُبرز في الشطر الثاني من القرن العشرين كارل بوبر.

للمزيد من التحليل الدقيق والمفصل لمنهج نيوتن وما استند إليه من مفاهيم وفروض انظر الفصل الأول من: محمد عثمان الخُشت، العقل وما بعد الطبيعة؛ تأويل جديد لفلسفتي هيوم وكانط، مكتبة ابن سينا، ١٩٩٥. (المترجمان)

(١) انظر: **Falkenburg and Ihmig 2004**.

(٢) انظر: **Losee 1993, 57-62**.

مكتبة الفكر الجديد

وبقيت المصطلحات الأخيرة حتى يومنا هذا بمعناها الحرفي في لغة الكيمياء. وفي القرن السابع عشر تعايشت العديد من تنويعات منهج التحليل والتركيب. أما تفسير نيوتن له فقد كان بالغ التعقيد. فقد كان إجراءً مُعقدًا يتراوح جيئة وذهابًا بين الظواهر التجريبية والنماذج الرياضية، عن طريق التنويع المُتكرر للظروف التجريبية وضبط المبادئ الرياضية[1]. لقد كان قريبًا مما لا يزال الفيزيائيون يفعلونه حتى اليوم حين يقومون بتصميم التجارب وتأسيس النماذج الرياضية من أجل بحث مجال فيزيائي جديد.

لذا فالقول: إن التجارب تهدف إلى التحليل العلي يُعادل القول: إن التجارب تهدف إلى عزل القوى العلية التي يُمكن فصلها عن بعضها البعض. وتعتبر الواقعية العلية أن هذه القوى العلية تعمل منفصلة، ككيانات لها استقلاليتها. وبمجرد أن يتم النظر إليها بوصفها حوامل مستقلة للخصائص الفيزيائية، فإنها تؤول بوصفها جواهر بالمعنى التقليدي. ولا ينبغي هنا أن نخطو من العوامل العلية إلى القوى العلية، ومن واقعية نيوتن للكميات الفيزيائية للواقعية العلية الحديثة. ومع ذلك فإنها خطوة صغيرة تمامًا. فالمناهج التجريبية لجاليليو ونيوتن ليست مُحايدة ميتافيزيقيًّا. إنها تهدف إلى توليد ظواهر قياسية وإلى عزل القوى العلية بالخصائص البنيوية للجواهر الميتافيزيقية.

---

(١) تعود جذور منهج نيوتن للتحليل والتركيب إلى الهندسة القديمة؛ انظر: **Ihmig 2004**. وهو وثيق الصلة بتفسير فرانسيس بيكون للاستقراء الذي يتميز بالصعوبة نفسها؛ انظر: **Falkenburg and Ihmig 2004**.

مكتبة الفكر الجديد

٢-٣ الكشف أم التصنيع؟

إن القوى العلية النمطية في الفيزياء الحديثة هي القوى، والمجالات، والذرات، ومكونات المادة فيما دون الذرة. والتساؤل حول ما إذا كان المنهج التجريبي يكتشف مثل هذه الكيانات أم يُوجدها يضرب بجذوره في الماضي البعيد. يمتد صدى هذا التساؤل من التجريبية الإنجليزية إلى المثالية الألمانية إلى فلسفة العلم الحديثة. رفض هيجل وبيركلي، سيرًا على الدرب الأرسطي، واقعية الذرات والقوى[١]. اقترح كوهين، في إطار الكانطية الجديدة، أن الواقعية الخفية للفيزيائي تُمثل بناءً نظريًّا، ومن ثم عارض تجريبية ماخ لأسباب أخرى مخالفة تمامًا لبلانك[٢]. يُعد الفيزيائي إدينجتون أبرز من أصروا على السمات البنائية للفيزياء الحديثة. فقد قارن بناء المعرفة الفيزيائية بشبكة لا تصطاد إلا سمكًا له حجم أدنى مُعين[٣]. وهذه نقطة بنائية تقترب من الأبستمولوجيا الكانطية من خلال الجوانب التالية: تعتمد معرفتنا الفيزيائية على شروط أبستمولوجية معينة؛ وتفرض النظرية الفيزيائية والمنهج التجريبي بنية قبلية على الظواهر. ترتكز الموضوعية العلمية، بحسب إدينجتون، على ذاتية انتقائية. وعلى المنوال نفسه يُثير الشكوك بشأن نتائج المنهج التجريبي:

---

(١) انظر:

Berkeley 1721 and Breidert 1969; Hegel 1830, § 266 and § 276; Falkenburg 1993c, 1998a.

(2) Cohen 1896 and Falkenburg 2000, 316-317.

(3) Eddington 1939, 16.

مكتبة الفكر الجديد

إنني بصدد طرح التساؤل التالي – ما مقدار ما نكتشفه وما مقدار ما نصنعه عن طريق تجاربنا؟ حين أظهرنا اللورد رذرفورد المتأخر على نواة الذرة، فهل كان يكشف عنها أن يصنعها؟ أيًا ما كان الأمر فلن يتأثر إعجابنا بإنجازه – كل ما في الأمر أننا نود معرفة ما فعله. هذا تساؤل نادرًا ما يحظى بإجابة مُحددة[1].

في سبيله لمعارضة الواقعية الساذجة، يدافع إدينجتون عن ضد-الواقعية. يُقدم إدينجتون اعتراضات مُعقدة وجوهرية ضد واقعية القوى، والمجالات، والمكونات دون الذرية للمادة، وترتكز هذه الاعتراضات على معرفة وثيقة بنظريات النسبية والكم. ومؤخرًا تم إثارة اعتراضات من هذا القبيل في فلسفة العلم وتاريخه، وإن افتقد الكثير منها لبراعة إدينجتون. تأثرت الفيزياء الحديثة بثلاثة أنواع من الطرق البنائية في الفهم – أو سوء الفهم – كما يلي[2]:

١- البنائية الاجتماعية.

٢- العلية التدخلية.

٣- التجريبية البنائية.

---

(1) Eddington 1939, 109.

(٢) إنها تؤلف مواقف فرعية من المواقف (٥)، و(٤) على التوالي، من القائمة الموجودة في الفقرة ١-٢. ثمة قائمة أكثر تفصيلاً للمواقف البنيوية حديثًا في المرجع: **Scheibe 1997, 9-29.**

مكتبة الفكر الجديد

١- البنائية الاجتماعية

حفزت فرضية "توماس كون" عن أن ثمة لا مقايسة بين النظريات المتنافسة هذه النسخة من البنائية. تتبنى فرضية كون في اللا مقياسية الدعوى السيمانطيقية بأن مفردات اللغة للنظريات المتنافسة بالغة التميّز إلى درجة تجعل من الترجمة التى لا تخلو من الالتباس أمرًا مستحيلاً، والزعم الأنطولوجي أن النظريات المتنافسة ترتبط بخلفيات نظرية غير متوافقة[١]. تقوم البنائية الاجتماعية على وجهة النظر بأن مثل هذه الأنطولوجيات أو المنظورات العلمية المختلفة تعتمد على الثقافات العلمية، بمعنى أنها تعتمد على التطور الخاص بمدارس المُجتمع العلمي. واتفاقًا مع وجهة النظر هذه، يركز علماء الاجتماع فقط على العوامل الخارجية والثقافية الاجتماعية التى تطورت النظريات العلمية في ظلها. وحتى هذه النقطة تكون الأمور على خير ما يرام.

فلن ينكر أحد أن الفيزياء الحديثة قد تطورت في ظل ظروف اجتماعية مُحددة جدًّا كانت ضرورية لظهور الميكانيكا الكلاسيكية ونظرية المجال والديناميكا الحرارية والنسبية وميكانيكا الكم وهلمَّ جرًّا. ومع ذلك تتعرض الفيزياء الحديثة لسوء فهم فج إذا ما تم خلط هذه العوامل الخارجية مع الشروط الكافية لنمو النظرية. ثمة نزعة قوية حاليًّا في علم الاجتماع وتاريخ العلم لإهمال العوامل الداخلية لنمو النظرية؛ أعني المنهجية العلمية والمعايير الداخلية لقبول النظريات العلمية[٢].

---

(1) Kuhn 1970.

(٢) انظر: Knorr-Cetina 1981, 1999; Latour and Woolgar 1979. يؤكد داستون (Daston 2000, 2-3) أن الدراسات التاريخية لبزوغ الأشياء العلمية واختفائها تلتقي=

مكتبة الفكر الجديد

يُعد كتاب "بيكرينج" "تشييد الكواركات" من نماذج وجهة النظر السوسيولوجية المتطرفة لتطور النظرية فى الفيزياء[1]. إنها تأتى مصاحبة لسلطة النظري في الفيزياء، وتُدافع عن رؤية أن نموذج الكوارك فى فيزياء الجسيمات الحالية هو بناء اجتماعى للمُجتمع العلمي. لقد كان الكتاب مؤثرًا فى سوسيولوجيا العلم. إنه يجمع تاريخًا بالغ التشويق والسحر لمدارس فيزياء الجسيمات النظرية فى الستينيات من القرن الماضى ونشوء النموذج القياسى الحالى وازدراءً كلّيًا للمحتويات العلمية لنموذج الكوارك تحديدًا. يقول "باكرينج":

إن صورة نظرية الكوارك- القياس للجسيمات الأولية يجب أن ينظر إليها كمنتج ثقافي خاص. لقد كانت الكيانات النظرية للفيزياء الحديثة، والظواهر الطبيعية التى أشارت إلى وجودها؛ بمثابة المنتجات المتزامنة(*) joint product لعملية تاريخية. [...] ومن وجهة النظر التي يتبناها هذا الفصل، فما من إلزام على أي أحد يسعى لرسم إطار للعالم أن يأخذ في اعتباره ما يقرره العلم في القرن العشرين. [...] كما أنه ليس ثمة سبب بالنسبة إلى غير المتخصصين لإظهار المزيد من الاحترام لصورة العالم من منظور فيزياء الطاقة العالية الحالية[2].

=بالسجال حول الواقعية العلمية نظرًا إلى أن "الأشياء العلمية يُمكن أن تكون واقعية وتاريخية في الوقت نفسه" (المرجع السابق نفسه، ص٣).

(1) Pickering 1984.

(*) الإنتاج المتزامن **Joint Production** هو عملية إنتاجية واحدة ينتج عنها منتجات متعددة بشكل متزامن. (المترجمان)

(2) Pickering 1984, 413=

مكتبة الفكر الجديد

يُمثل التحليل التاريخي لتحليل المُعطيات وإعادة تحليلها التي تؤكد التيارات الضعيفة المتعادلة (التى كانت فاصلة فى صلاحية النموذج المبكر للكوارك) خلفية هذه الرؤية. ففى النتائج المأخوذة من الغرفة الفقاعية لـ"جارجامل" عام ١٩٦٣، لم يتم العثور على تيارات متعادلة ضعيفة. وقد تم إعادة تحليلها بعد ذلك بعشر سنوات، بعد تأكيد نموذج الكوارك. والآن، كشفت المعطيات عن أدلة على وجود التيارات الضعيفة المتعادلة. يعزو "بيكرينج" سبب نجاح هذا الإنجاز التجريبى إلى أن ثمة علاقة تكافلية(*) بين النظرية والتجربة:

لقد أعادت تجارب النيوترينو تقدير إجراءات تفسيرها فى بداية سبعينيات القرن العشرين و [...] نجحت فى إيجاد مجموعة جديدة من الممارسات جعلت من التيارات المتعادلة أمرًا جليًّا(١).

ومع ذلك، فسلطة العالم النظرىّ ليست كسلطة العالم التجريبى. إن القياس وتحليل المُعطيات أمور محملة بالنظرية، إلا أن النظريات المشاركة

=يستطرد بيكرينج: "في سياقات مُعينة، مثل الدراسات التأسيسية في فلسفة العلم، ربما يكون من المثمر أن نلقي نظرة عن كثب على الاعتقادات العلمية المُعاصرة. أما في بعض السياقات الأُخرى، فببساطة قد يعوق الإنصات لما يقوله علماء الخيال". وفقًا لهذه الرؤية، فإن الأبحاث الفلسفية، من قبيل هذا الكتاب، التي تهدف إلى المزيد من فهم محتويات الفيزياء الحديثة، ما هي إلا ظواهر اجتماعية-ثقافية.

(*) العلاقة التكافلية **Symbiosis**: علاقة وثيقة بين نوعين مختلفين من الكائنات الحية، وتشمل تبادل المنفعة، والمُعايشة، والتطفل.(المترجمان)

(1) Pickering 1984, 194.

مكتبة الفكر الجديد

لا ينبغي أن تكون متطابقة مع النظريات موضع الاختبار. وتكون مهمة القائم على التجريب الفصل الحاسم بين النظريات موضع الاختبار ونظريات القياس أو تحليل المُعطيات. فإن لم يكن الفصل بينهم ممكنًا، فإن القياس يضل الطريق وتصبح نتائج النتائج التجريبية غير معول عليها. يُعد التمييز بين الخلفية المعرفية الآمنة وعدم اليقين النظري أمرًا حاسمًا لفهم هذه النقطة[1]. وفي واقع الأمر، فقد اعتمدت إعادة تحليل المعطيات القديمة بشأن التيارات المتعادلة في بداية سبعينيات القرن العشرين على فهم أفضل للتصويبات المشعة للكهروديناميكا الكمية، وليس على نموذج الكوارك موضع القياس. وعلى نقيض بيكرينج، يؤكد المؤرخ "جاليسون" على ذاتية الممارسة التجريبية في مقابل تشييد النظرية[2]. يتبقى القول: إن التحميل النظري في حد ذاته لا يُبرهن على أن المُعطيات بناءات اجتماعية.

٢- العلية التدخلية

تنحو هذه النسخة من البنائية منحًى براجماتيًّا. تركز البراجماتية على العلم باعتباره نشاطًا إنسانيًّا. من الجلي أن التجارب والقياس تمثل أنماطًا مُعينة من الأفعال الإنسانية. وفي إطار ظروف تحت التحكم، يتم التدخل في العمليات الطبيعية؛ بهدف توليد ظواهر قياسية وفرض بُنى رياضية عليها. سعت مدرسة "إرلانجن" البنائية إلى إعادة تأسيس البنية الرياضية للنظريات

---

(1) **Shapere 1982;** والفقرة ٢-٥

(٢) انظر التحليل المُفصل لتحليل المُعطيات المُحايد الحالي وإعادة التحليل في المرجع: **Galison 1987, 135-241.**

مكتبة الفكر الجديد

الفيزيائية من العمليات العينية التي تؤدي إلى موضوعات وعمليات مثالية بشكل تقريبي[1]. في هذا الإطار يقترح تيتنس تأويل نتائج التجارب من خلال مفهوم فون رايت للعلية التجريبية أو التدخلية[2]. يقوم الفيزيائيون بإجراء التجارب من أجل إدراك الشروط المثالية التي لا توجد في الطبيعة. ويتم تحت هذه الظروف الاصطناعية تسيير عملية يبدو جليًّا أنها لن تحدث بالكيفية نفسها في الطبيعة "البكر". تأسيسًا على هذه الحقيقة الراسخة ينتهي تيتنس إلى نتائج ضد–واقعية، تكون في الواقع من بواقي التمييز القديم بين الفيزيائي "φυσκ" والفني "θεχυε": فالاضطراد المُشاهد في تجربة ما هو هدف التجربة. إنها تنتمي إلى البنية القصدية النمطية بالنسبة إلى الأنشطة الإنسانية؛ ويتم التعبير عنها من خلال معادلات ذات قيمة تنبؤية. لا تتطابق هذه المعادلات مع القوانين الموضوعية للطبيعة لكن فقط مع توقعنا الذاتي لما سوف يحدث. المُحصلة هي ذرائعية أصولية: فالتجربة نشاط غائي، ويتمثل الهدف الأساسي للنظرية التجريبية في توفير أدوات التنبؤ التي تخدم أغراضنا التقنية. يؤكد تيتنس أن رؤيتنا للطبيعة لا يمكن أن تظل بمنأى عن المنهج التجريبي:

> من هنا فالخبرة التجريبية ليست ملاحظة شيء موجود بالفعل في الطبيعة، إنها أن نخبر القدرة على التغير فيما هو طبيعي،

---

(١) انظر برنامج لورنزن وجانيش للفيزياء الأولية (**Butts and Brown 1989**). إن أكثر النظريات تقدمًا التي يُمكن إعادة تأسيسها بهذه الطريقة كانت النسبية الخاصة. أما بالنسبة إلى نظرية الكم، فقد أخفق المشروع. فالأفعال البشرية العينية تعمل على موضوعات المُستويات الكُبرى وليس على النطاق دون الذري.

(2) Tetens 1987; von Wright 1971.

مكتبة الفكر الجديد

التي تتم بإيجابية؛ حيث تُصبح الطبيعة في الخبرة التجريبية مرئية، في المقام الأول، بوصفها حدودًا لا يُمكن تخطيها بالمعالجة التقنية[1].

لا أعتقد أن هذا الزعم له ما يبرره. صحيح أن استخدام التقنية لم يترك مفهومنا للطبيعة على حاله. فنتيجة للتقنيات الحديثة، أصبح الخط الفاصل بين ما يتعدى القدرة البشرية وما هو نتاج للأنشطة الإنسانية غائمًا. ولكن هل تجعل هذه الملاحظة الصادمة من القوانين، التي تحدد من جانبها مدى صلاحية أو عدم صلاحية التجربة، نتيجة للفعل الإنساني؟ أكد فرانسيس بيكون، في عصر جاليليو، أنه حتى لو لكان ثمة أغراض تقنية، فإن أي استخدام للتقنية يقتضي اتباع قوانين الطبيعة[2]. وقد يكون مذهب التدخلية ضروريًّا لفهم التجارب والقوانين الظاهراتية التى تنتج عنها، ولكنه ليس كافيًا.

إن التحميل بالتقنية، مثله مثل التحميل بالنظرية ليس أمرًا قاتلاً بالنسبة إلى الموضوعية العلمية. يدفع المذهب التدخلي عند تيتنس للفيزياء التجريبية عدة اعتراضات:

---

(1) Tetens 1987, 12; من ترجمتي

يجب أن نُضيف أن تيتنس لم يعُد يُدافع عن مثل هذه الأداتية الأصولية اليوم. انظر على سبيل المثال كتابه الرائع عن سجال العقل–الجسم (Tetens 1994)، الذي يُسلم بنتائج العلم الإدراكي الحديث بطريقة لا تتفق مع الأداتية.

(2) Bacon 1620, First Book, III:

"متى توصلنا إلى قوانين الطبيعة؛ فإن الظواهر تطيعها، والقوانين التي نتوصل إليها بالتأمل تُمثل قاعدة مثلها مثل العلة في حدوث الظاهرة".

مكتبة الفكر الجديد

١- النشاط التجريبي نفسه ليس متصلاً بفهم قوانين الفيزياء. تعتمد النتائج التجريبية على التفاعل بين المهارات التقنية ونظرية القياس بقدر أكبر مما تعتمد على أهداف البشر العملية وطموحاتهم. (على الرغم من الحالات المؤخرة للغش في البيولوجيا والفيزياء؛ وعلى وجه الخصوص فقد أظهر الكشف عن تلك الحالات أن العلم يهدف في المقام الأول إلى الصدق أكثر مما يهدف إلى تحقيق الغايات البشرية).

٢- الحد الفاصل بين الملاحظة والتجربة غائم أيضًا؛ حيث يتداخل مجال كلا النوعين من النشاط الأبستمولوجي. مثال ذلك التداخل بين ظواهر النشاط الإشعاعي الطبيعية والاصطناعية. وفي فيزياء الجُسيمات تتداخل مُعطيات الصور المأخوذة للأشعة الكونية والمُعطيات المأخوذة لوابل معجلات الجسيمات. ومعجل الجسيمات تتم تغذيته بمصدر مشع طبيعي. أما كشاف الجسيمات فى تجربة تشتت لفيزياء الطاقة العالية فيظل يُسجل مسارات أشعة كونية عندما يتم إطفاء الوابل.

٣- ثمة نتائج مقصودة وغير مقصودة للأفعال البشرية. فحين يتم إجراء تجربة، فإن قوانين الطبيعة المعروفة جيدًا هي فقط ما يمكن أن ينتج عنه نتائج مقصودة لأنشطة القائم على التجريب. عادة ما يتم إجراء التجربة لأن بعضًا مُعينًا من قوانين الطبيعة لم يصبح بعد جزءًا من معارفنا الموثوقة ولكنه لا يزال تحت التمحيص. فإذا ما اعتمدت النتائج على أنشطة القائم على التجريب بشكل حصري، فلماذا إذن يتعين بذل الجهد للقيام بالتجربة؟

مكتبة الفكر الجديد

لا يجب الخلط بين النشاط التجريبي والاستخدام التقني؛ إذ تهدف التقنية إلى إحداث نتائج مقصودة لأفعالنا. بينما تهدف التجارب أساسًا إلى بحث النتائج غير المقصودة. فالنتائج غير المقصودة للتجربة أمور عارضة. فقد تكون كما هو متوقع أو على النقيض تمامًا. إنها تنسجم تمامًا مع معيارنا للواقعية المعروض في الفقرة ١-٣: إنها تنتمي إلى الفعلي. فإذا ما كانت التجربة تعمل كما هو متوقع، فحينها فقط يمكن تحويلها إلى تقنية وتصير أداة تقنية نافعة لأداء غيرها من التجارب. إن حُجج المذهب التدخلي، في واقع الأمر، يمكن أن تفيد أيضًا في تقديم الدعم للواقعية العلمية[١].

٣- التجريبية البنائية

تشترك البنائية الاجتماعية مع المذهب التدخلي في أنهما يقومان بالخلط بين الشروط الضرورية والكافية للمنهج التجريبي. وفي سبيلهما إلى ذلك، يصل كلٌّ من الموقفين إلى النتيجة نفسها: يُنتج المنهج التجريبي بناءات اجتماعية أو تقنية فحسب. ويفوتهم أن القائم على التجريب ليس بإمكانه أن يولد بشكل مُتعمد ظواهر عشوائية. إنهم لا يُدركون عرضية النتائج التجريبية كدليل على واقع فيزيائي مستقل، ولقوانين الطبيعة التي ليست في متناولنا. وفي كلا الرؤيتين، تصير الفيزياء منتجًا ثقافيًّا ويُختزل العلم الطبيعي في التقنية. ومع ذلك تُظهر تجريبية فان فراسن البنائية أن الرؤية البنائية للمنهج التجريبي متوافقة مع تفسير تجريبي للفيزياء. يذهب فان فراسن إلى أن

---

(١) انظر: **Hacking 1983**، والفقرة ١-٤.

مكتبة الفكر الجديد

النظريات بناءات رياضية، وأن التجارب تؤدي إلى بناءات تجريبية. ويسير كلا النوعين من البناءات جنبًا إلى جنب. إن بناءاتنا النظرية عن العالم غير كاملة وتُصمم التجارب من أجل ملء الفراغات في نظرياتنا. إنها تهدف إلى تحديد الظروف الفاصلة العرضية للمُعادلات التفاضلية أو إلى قياس الثوابت الكونية للطبيعة من قبيل سرعة الضوء أو شحنة الإلكترون[1]؛ لذا فثمة سمات بنائية لتفاعل النظرية والتجربة. يوضح فان فراسن هذه النقطة عن طريق عقيدة كلاوس فيتز في التجريب. ووفقًا لها، فإن أداء تجربة ما يعني أن يحل الصراع التقني مع الطبيعة محل سياسة بناء النظرية:

> فالتجريب هو الاستمرار في تأسيس النظرية عن طريق سُبل أخرى [...] أود أن أستدعي هذه الرؤية "عقيدة كلاوس فيتز في التجريب". إنها تجعل اللغة لغة للتأسيس أكثر منها للاكتشاف، كما أنها أكثر ملائمة للتجريب كما هي للتنظير[2].

تُزكي هذه الفقرة بوضوح وجهة نظر بنائية لصياغة النظرية في الفيزياء. ورغم ذلك، فإنها تقترح، علاوة على ذلك، أن أداء تجربة ما يعني التعامل مع حالة مستقلة تكون محك الكفاية التجريبية لبناءاتنا[3].

---

(1) Van Fraassen 1987, 119-120.

(٢) المرجع السابق ص١٢٠. يؤكد فراسن في: **van Fraassen 1980, 5**، السمات البنيوية للفيزياء بتسمية موقفه الأبستمولوجي التجريبية البنيوية: "إنني أستخدم الصفة "بنيوية" كي أُشير إلى رؤيتي أن النشاط العلمي ذو طبيعة تأسيسية وليست كشفية: إنها تأسيس للنماذج التي يجب أن تكون ملائمة للظواهر، وليس الكشف عن الحقيقية بشأن ما لا يُمكن ملاحظته".

(٣) انظر: **Wind 1934**، والتمييز الذي عرضت له في الفقرة (١-٣).

مكتبة الفكر الجديد

من بين المواقف البنائية الثلاثة المعروضة هنا، يقترب موقف فان فراسن من دقة إدينجتون[1]. وفي واقع الأمر، يتطلب سؤال إدينجتون حول الاكتشاف أم التصنيع إجابة مُعقدة؛ إذ ينبغي التخلي عن أحد الخيارين. يرتكز التفاعل بين النظرية والتجريب على تفاعل مُعقد بين الأنشطة البشرية وقوى الطبيعة العلية.

ينبغي هنا تبني نقطة كانطية أصيلة. فإذا ما تم إجراء تجربة ما بالشكل الصحيح، تستجيب الطبيعة كما لو كانت شاهدًا مستقلاً وعدلاً. (يكون أداء التجربة صحيحًا إذا ما كانت الخلفية المعرفية النظرية للقياس منفصلة جيدًا عن الموضوع قيد البحث، وإذا ما كانت الأدوات المستخدمة معروفة جيدًا، وإذا ما توافرت الأمانة في القائم على التجريب). وإذا ما كان للتجربة نتائج واضحة، فإنها تقرر اختيارًا ثنائيًا. فإذا ما كانت النظرية الخاصة بالموضوع قيد البحث تُعطي تنبؤًا، فإن نتيجة التجريب إما أن تتفق مع التنبؤ أو لا تتفق. وإذا ما تم ملء فراغ في النظرية، فإن إحدى قيم الكمية الفيزيائية يكون قد تم قياسها في إطار هامش خطأ مُعين، مع استبعاد جميع القيم الأخرى. يصف كانط، في فقرة شهيرة، التفاعل بين الأنشطة الأبستمولوجية وشهادة الطبيعة على النحو التالي:

> حين قام جاليليو بدحرجة كرات لها أوزان من اختياره عبر سطح مائل، أو حين قام تورشيللي بتحميل الهواء وزن اعتقد مسبقًا أنه مساو لوزن عمود من الماء، أو حين قام شتال في

---

(١) إن السمات التجريبية لتجريبيته البنيوية أقل إقناعًا؛ انظر الفقرة (٢-٦).

مكتبة الفكر الجديد

وقت لاحق لهم بتحويل المعادن إلى كلسات ثم تحويل تلك الأخيرة مرة أخرى إلى معادن عن طريق نزع شيء أولاً ثم إعادته مرة أخرى، فإن ثمة ضوءًا قد سطع على كل أولئك الذين درسوا الطبيعة. لقد فهموا أن ثمة تبصرًا للعقل لما ينتجه هو بنفسه وفقًا لتصميمه الخاص؛ أي أنه ينبغي أن يأخذ دور القيادة بالمبادئ لأحكامه وفقًا لقوانين ثابتة، وأن يُجبر الطبيعة على الإجابة عن تساؤلاته. [...] فالعقل ينبغي أن يتناول الطبيعة، من أجل أن يتعلم من خلالها، عبر مبادئها من جهة [...] وما يتم التفكير فيه من تجارب بالتوافق مع تلك المبادئ من جهة أخرى [...][1].

إن السمات البنائية للمنهج التجريبي، سواء في زمن كانط أو إدينجتون، يتعين أن تتخطى التجريبية. واليوم يبدو أنها تمثل الطريق الآخر: فالسمات التجريبية للنتائج التجريبية ينبغي أن تتخطى العديد من تنويعات البنيوية. فالشهود العدول مستقلون. ولا تُجيب الطبيعة بطريقة مذبذبة أو اعتباطية عن الأسئلة التي توضع في التجارب الجيدة؛ إذ تعرض التجارب اضطرادات شبيهة بالقوانين ليست بالكامل تحت تصرف القائم على التجريب. مثلها مثل الشاهد العدل، قد تقوم التجارب بمقاومة تأملاتنا النظرية. وهذا ما يحدث بالفعل في فيزياء ما دون الذرة حين يخفق البناء الكلاسيكي للنتائج التجريبية.

---

(1) Kant 1787, B XIII.

مكتبة الفكر الجديد

٢-٤ الظواهر وعللها

يُعد التساؤل عن علل الظواهر أمرًا حاسمًا بالنسبة إلى العلم الجاليلي والنيوتوني. ومع ذلك لا يجوز رد الظواهر وأيضًا عللها القابلة للملاحظة إلى ما يُمكن ملاحظته بالمعنى التجريبي الضيق. فالمنهج التجريبي يقوم بما هو أكثر من مجرد ملء الفراغات في التوصيفات النظرية. إنه يهدف إلى التحليل العلي. وفقًا لفان فراسن لا تنتمي علل الظواهر إلى المجال التجريبي لنظرية فيزيائية ما، ولكنها تنتمي إلى عالم ما لا يمكن ملاحظته. من هنا فإن موقفه للتجريبية البنائية، في الجزء "التجريبي"، يخفق فيما يتعلق ببنية الفيزياء الحديثة ومناهجها. على حين نجد بعضًا من حججه ضد الواقعية العلية جوهرية. ولسوف نتناولها فيما بعد[١]. ولكن أولاً، يتعين توضيح ماهية ظواهر الفيزياء الحديثة، وماهية عللها، وما يُمكن أن يُقال في صالح واقعية الأخيرة في مقابل التجريبية والبنائية.

يُعد التساؤل حول ماذا عساها بالضبط أن تكون ظواهر الفيزياء الحديثة أمرًا مثيرًا للجدل في الفيزياء المُعاصرة. وفي واقع الأمر تعتمد وجهات النظر حول الظواهر على الموقف الخاص في السجال بشأن الواقعية العلمية. فالظواهر، بالنسبة إلى الواقعيين العلميين، هي حقائق في الطبيعة تشرحها النظريات الفيزيائية. وفقًا لهذه الرؤية، التي دافع عنها بوجين ووودوارد في بحث واسع التأثير[٢]، تكون الظواهر هي ما يدعوه الفيزيائيون بالآثار: مثل قبيل أثر أينشتين–دي هاس، وأثر بوم–أهارانوف، وأثر هال

---

(1) Van Fraassen 1980, 17. وانظر الفقرة (٢-٦)

(2) Bogen and Woodward 1988.

مكتبة الفكر الجديد

الكمي، ...إلخ. بالنسبة إلى التجريبيين أمثال فان فراسن، فإن ظواهر الفيزياء هي حالات الظهور؛ أي ما يُمكن ملاحظته أو إدراكه عن طريق الخبرة الحسية. بالنسبة إلى البنيويين، فإن ظواهر الفيزياء سوف تكون البُنى التي تولدها التجارب والمناهج الرياضية. وفي واقع الأمر فمن المستحيل الدفاع عن مفهوم غير متلبس لظواهر الفيزياء الحديثة وفقًا للجُسيم الفيزيائي؛ إذ تعتمد ماهية الظواهر على السياق النظري والتجريبي. وحتى استخدام نيوتن للمفهوم لم يكن مُستقرًّا. فأحيانًا ما كان يعتبر أن الظواهر هي ما يُمكن ملاحظته، على حين نجد أن الظواهر التي يتناولها في الكتاب الأول والثالث من البرنكيبيا هي حركات الكواكب الموصوفة في قوانين كبلر[1].

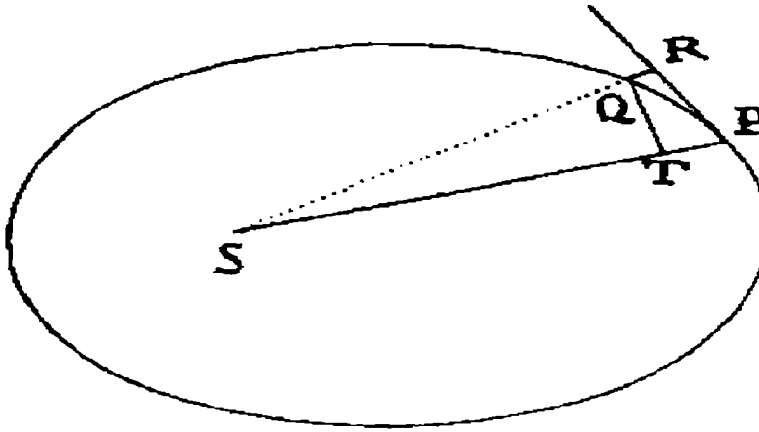
يؤكد هاكينج في كتابه "التوضيح والتدخل" أن الظواهر بمعناها في الفيزياء الحديثة لا تحدث إلا نادرًا جدًّا في الطبيعة[2]. فالظواهر منتظمة. وتحدث وفقًا لقواعد شبيهة بالقوانين. كما أنها تأتي في مقابل الإعجازي. إنها تعرض قوانين للطبيعة يمكن الوثوق بها. إنها معيارية ويُمكن التعبير عنها من خلال الكميات الفيزيائية. ويتعين توليدها بالتجريب في كل الميادين باستثناء الفلك. وفي التجارب يمكن أن تكون نصف مُكتشفة ونصف مُصنعة. إنها تحدث ببساطة في الفلك وفيزياء الفلك الحديثة فحسب. وفي كل الأحوال، تكون تأسيسًا على الأمْثِلَة الرياضية. ويتعين الانتهاء إلى أن معظم (إن لم يكن كل) ظواهر الفيزياء تنتج عن الأمْثِلَة الرياضية والمنهج التجريبي.

---

(1) Newton 1689, 797-801. Matthews 2003 :وانظر أيضًا

(2) Hacking 1983, 227-232.

مكتبة الفكر الجديد



شكل (٢-٢) ظاهرة حركة "كبلر"

(نيوتن ١٦٨٧، ص ٤٦٧)

اقتصرت ظواهر العلم الطبيعي، فيما قبل المنهج التجريبي لجاليليو، على المشاهدات الفلكية. وقد كانت خاضعة للأمْثَلَة الرياضية في قوانين بطليموس وكبلر. أما مع جاليليو ونيوتن، فقد بلغت عملية صياغة الظواهر في صيغة رياضية مستوى جديدًا. كانت الظواهر بالنسبة إلى جاليليو هي النتائج المعيارية لتجاربه. أما الظواهر الميكانيكية التي أراد نيوتن أن يشرحها فقد كانت في واقع الأمر بالنسبة إليه قوانين ظاهراتية؛ أعني قوانين كبلر وقوانين جاليليو للسقوط الحر. بالمثل فقد نتجت ظواهر تجاربه البصرية عن النماذج الهندسية لأشعة الضوء. من هنا فإن مصطلح "ظاهرة" قد تم استخدامه، منذ البواكير الأولى للعلم الحديث، ليعني توصيفًا رياضيًّا مُحملاً بالنظرية لما طالما سُمي من قبل بالظواهر. فظواهر العلم الحديث هي بُنى تجريبية مُحملة بالنظرية.

مكتبة الفكر الجديد

تتفق الواقعية العلمية مع أي موقف تجريبي مُعتدل على أن البُنى التجريبية المُحملة بالنظرية تنتمي إلى الواقعية التجريبية. فيما تعتنق الأجزاء التي يُمكن الولوج إليها تجريبيًّا للواقعية الفيزيائية أكثر من مُجرد المُعطيات الحسية الخام التي تقرها التجريبية الصارمة. إذ لا يتمثل الأساس التجريبي للفيزياء الحديثة في الظواهر القابلة للملاحظة بالمعنى الضيق، ولا في المُعطيات التجريبية المُعطاة بدلالة قيم المؤشر لأجهزة القياس. وعلى حين تكون الظواهر بُنى تجريبية، تكون المُعطيات التجريبية أعدادًا. يُعطي القياس قيمًا عددية للكميات الفيزيائية. ويتم الحصول على المُعطيات العددية من قراءة أجهزة القياس. وينتج عنها نماذج مُعطيات رياضية، أي بنى رياضية صغرى تلائم المعطيات. إن نماذج المعطيات بُنى تجريبية أيضًا. إن التمييز بين الظواهر والمعطيات في الفيزياء الحديثة أمر غائم إلى حد ما[1].

إلا أن المنهج التجريبي يذهب إلى خطوة حاسمة أبعد. إنه يولد ظواهر معيارية من أجل بحث عللها. ويهدف تنويع ظروف تجربة ما إلى إعادة تجميع وإعادة تأسيس القوى العلية المستقلة. فقد استهدف تفكيك وتجميع نيوتن للضوء الأبيض عن طريق منشور زجاجي إلى التحليل العلي النوعي[2]. كما يستهدف تنويع الكميات الفيزيائية وتحليل ارتباطاتها الدالية إلى التحليل العلي الكمي. درس جاليليو السقوط الحر تحت نوعين مختلفين من المُحددات، وهما السطح المائل والبندول، مع تنويع انحدار السطح وقياس

---

(١) انظر: **Matthews 2003**، وملاحظاتي عاليه بشأن الطرق المختلفة لفهم ظواهر الفيزياء.

(٢) انظر نهاية الفقرة (٢-٢).

مكتبة الفكر الجديد

زمن تدحرج الكرة، أو سعة البندول. قام نيوتن بتنويع ترتيب أشعة ضوء الشمس والمنشورات الزجاجية من أجل دراسة السمات الثابتة في الأطياف الناتجة وقياس مُعامل انكسار أشعة الضوء للألوان المختلفة. يقوم فيزيائيو الطاقة العالية المحدثون بتنويع طاقة وابل الجُسيمات الساقطة، مع قياس مقطع عابر لنوع معين من التشتت بواسطة أنواع عديدة من كشافات الجسيمات.

يعني قياس الكميات تسجيل قيمها العددية. ويُسمى التسجيل في التجارب الحديثة "أخذ المُعطيات". والمعطيات هنا هي قيم الطول، والزمن، والكتلة، والشحنة، والتيار الكهربي، والفولت، وقوة المجال الكهربي أو المغناطيسي، ودرجة الحرارة، ... إلخ، في نسق مُعطى من الوحدات. كان يتم تدوين المُعطيات فيما مضى في سجلات. والآن أصبح التدوين يتم عن طريق أجهزة إلكترونية تتم قراءتها وتحليلها من خلال أجهزة الكمبيوتر. إن مُعطيات الفيزياء الحديثة هي أيضًا بُنى تجريبية محملة بالنظرية. ويتم تغذية نماذج المُعطيات[1] بها وتحليلها من أجل تحديد الارتباطات الدالية بين الكميات الفيزيائية. وعادة ما يتم التعبير عن هذه الارتباطات الدالية من خلال معادلات تفاضلية، كما في التلازم الرياضي للتفسيرات العلية.

ثمة افتراق بين تجريبية فان فراسن والعلم الجاليلي فيما يتعلق بنتائج التحليل العلي. يُفسر جاليليو أو نيوتن الظواهر من خلال العلل. فتتطلب القاعدة الأولى للتفكير عند نيوتن بحثًا عن "العلل الحقيقية" للظواهر. حتى إن كان يعرفها في المقام الأول بوصفها كميات فيزيائية وليست قوى علية غير

---

(1) Suppes 1962.

مكتبة الفكر الجديد

قابلة للملاحظة[1]، فمن المؤكد أن ثمة نزوعًا متأصلاً في الفيزياء الحديثة تجاه الواقعية العلية. قام نيوتن باستبعاد الذرات، والأثير، وجُسيمات أو موجات الضوء فقط؛ لأن خصائصها الفيزيائية بالنسبة إليه كانت فيما وراء التناول التجريبي. اليوم يتم قياس الكميات الفيزيائية لجُسيمات ما دون الذرة، والأمر نفسه بالنسبة إلى خصائص حالات الفراغ لمجال كمي (وهي حاليًّا المرشح الأفضل ليمثل نمطًا ما من الأثير الفيزيائي). سيدافع معظم فيزيائى الجُسيمات دون شك عن الواقعية العلية فيما يتعلق بجُسيمات ما دون الذرة. على النقيض تمامًا، يفترض فان فراسن وجود هذه الأخيرة ليظل لا أدريًّا بخصوص العلل غير القابلة للملاحظة للظواهر القابلة للملاحظة أو البُنى التجريبية. فالقوى العلية في الفيزياء الحديثة، وفقًا له، تكون ميتافيزيقية. أما الكيانات غير القابلة للملاحظة من قبيل القوى، أو الذرات، أو جُسيمات ما دون الذرة فتكون افتراضية بمعنى يجعلها شبه خيالية. فوفقًا لفان فراسن، فإن استخلاص النتائج بشأن العلل غير القابلة للملاحظة يعني زيادة رقعة الواقعية التجريبية.

ثمة رؤية مخالفة للقوى العلية في الفيزياء الحديثة نجدها عند هاكينج. يتبنى هاكينج الآراء البنائية لفان فراسن أو تيتنس للمنهج التجريبي، ولكنه يدافع عن الواقعية العلية. وفقًا لهاكينج فإن السمات البنائية للتجريب تدعم الواقعية العلية ولا تنبذها؛ كما ينشأ عن السمات القصدية أو الغائية للمنهج التجريبي المعيار التالي للواقعية: إذا ما كانت ثمة إمكانية لاستخدام القوى

---

(1) Newton 1729, 398; Falkenburg and Ihmig 2004 (٢-٢) والفقرة.

مكتبة الفكر الجديد

العلية غير القابلة للملاحظة بوصفها أداة اعتيادية في تجربة ناجحة، فلا بد من وجود هذه القوى:

> إننا على قناعة كاملة بواقعية الإلكترونات حين نأخذ في بناء – وكثيرًا ما يكفي النجاح في البناء – أنواع جديدة من الأجهزة تستخدم العديد من الخصائص العلية المفهومة جيدًا للإلكترونات من أجل التدخل في مناطق أخرى من الطبيعة تتميز بصبغة أكثر فرضية[1].

يُدلل هاكينج على معياره للواقعية عبر مناقشة قياس لانتهاك التكافؤ قُدم في عام ١٩٧٨. فنظرًا إلى أن قاذف الإلكترون يُمثل جزءًا أساسيًّا من الجهاز التجريبي، فإن التصور، والأداء، وتحليل مُعطيات القياس تفترض مُقدمًا وجود الإلكترونات[2]. يُدرك هاكينج ها هنا سمة أساسية للأسلوب الذي يتبعه الفيزيائيون لتوسيع نظرياتهم في القياس. فإذا ما حازت نظرية ما عن نوع معين من الكيانات أو القوى العلية على القبول والمصادقة، فإنها تصير جزءًا من الخلفية المعرفية الموثوقة، وتجتاز مرحلة الخضوع للاختبارات التجريبية. والآن قد ينشأ عنها نظريات قياس جديدة وتقنيات جديدة يتم استخدامها للاختبار التجريبي لغيرها من النظريات. وبهذه الطريقة دخلت الخلفية المعرفية عن الإلكترون في تأسيس قاذفات الإلكترونات ومُعجلات الجُسيمات. ومن وجهة نظرة أداتية، فإن الطريقة التي يعمل بها قاذف الإلكترونات لا يُمكن شرحها. وتأثيرات وابل الإلكترونات النابض فى قياس

---

(1) Hacking 1983, 265.
(2) Loc. cit., 266-273.

مكتبة الفكر الجديد

انتهاك "التكافؤ" التى ناقشها "هاكينج" يمكن فهمها فقط إذا ما افترضنا أن نبضات الإلكترونات المستقطبة خطيًا لها وجود وأنها تسبب عدم التماثل الأيسر – الأيمن فى وقائع التشتت.

تدعم حُجة هاكينج الحدس البراجماتي للفيزيائي الذي يرى أن الكائنات التي يُمكن التحكم بها من أجل إنتاج بعض الآثار المُعينة المرغوبة يجب أن تكون واقعية. وقد تكون خصائصها الفيزيائية وبنيتها ليست معروفة بشكل كامل، إلا أنها تخدم غرضًا مُعينًا ويلزم عن ذلك القول: إنها موجودة. ويُعادل إنكار وجودها الزعم بأنك تستطيع أن تدق مسمارًا في الحائط بمطرقة ليس لها وجود. هذه الحُجة الفلسفية للمطرقة والمسمار تقترب في واقع الأمر من معيار الواقعية المُستخدم في إطار المجتمع العلمي للفيزياء تحديدًا. وفي عام ١٩٣٩ أثار إدينجتون النقطة عينها بشأن النيوترينو. فحين كتب إدينجتون كتابه "فلسفة علم الفيزياء"، كانت وظيفة فرض النيوترينو ضمان بقاء الطاقة عند انحلال جُسيمات بيتا، ولكن لم يكن ثمة دليل على وجود النيوترينات. أكد إدينجتون أنه لن يأخذهم على محمل الجد قبل أن يكون بالإمكان توليدهم في تجربة واستخدامهم كأداة تقنية:

> لا يتملكني الإعجاب بنظرية النيوترينو. وبطريقة اعتيادية يُمكنني القول: إنني لا أؤمن بالنيوترينات. [...] بل هل تواتيني الجرأة للقول: إن الفيزيائيين التجريبيين لن يكون لديهم البراعة الكافية لصنع النيوترينات؟ [...] فإذا ما نجحوا في صنع النيوترينات، وربما حتى في تطوير تطبيقات صناعية لها، فإنني

مكتبة الفكر الجديد

أفترض أنه سيتعين علي الإيمان بها – حتى وإن شعرت بـأنهم لم يكونوا ملتزمين بالقواعد كما يجب[1].

تم الكشف عن النيوترينات أول مرة بطريقة غير مباشرة في عام ١٩٥٦، في مقلوب انحلال جُسيمات بيتا. وما إن تم الكشف عنها وتصنيعها حتى صارت النيوترينات جزءًا من صندوق أدوات فيزياء الطاقة العالية. واليوم هى على قدم المساواة مع وابلات الإلكترونات. لقد بحثت العديد من تجارب التشتت للنيوترينو بنية البروتون والنيوترون[2]. ثمة ثلاثة مبادئ متلازمة في معيار إدينجتون ومعيار هاكينج للواقعية:

١- مبدأ العلية؛ ووفقًا له ينبغي أن تكون ثمة علة للأثر الذي يمكن ملاحظته.

٢- مبدأ الكفاية؛ ووفقًا له ينبغي أن يكون لدينا معرفة كافية بهذه العلة كى نستعملها كأداة.

٣- مبدأ القصدية؛ ووفقًا لهذا المبدأ تهدف المقاصد التقنية إلى إدراك الأغراض الإنسانية بواسطة أدوات معينة.

ولكي تصير أي تجربة ناجحة، فلا بد من عدم انتهاك أي من هذه المبادئ الثلاثة. فدون العلية لن تتولد أى ظاهرة على الإطلاق. ودون المعرفة الكافية للعلة، فلن تكون أي ظاهرة تحت السيطرة. ودون أن تكون

---

(1) Eddington 1939, 112.

(٢) انظر أي كتاب حديث عن فيزياء الطاقة العالية، على سبيل المثال: Perkins 2000، والفقرة (٤-٤). وانظر أيضًا: Franklin 2001.

مكتبة الفكر الجديد

ثمة أدوات في المتناول، فلن يُمكن إدراك أي هدف للقصدية التقنية. تُظهر المبادئ الثلاثة أن الخاصية الأداتية للنظريات الفيزيائية يُساء فهمها بالاعتقاد في أن القيمة التنبؤية لنظرية ما لا تتضمن وجود قوى علية مناظرة. وبالنسبة إلى تطبيقات التقنية لنظرية ما، فالعكس تمامًا هو الصحيح[١].

أكدت أيضًا نانسي كارترايت الجانب العلي للنظريات الفيزيائية. فعلى نهج المنطق الاستقرائي لمل، اقترحت كارترايت إضافة نمذجة علية للرؤية التجريبية للعلم[٢]. وبحسب كارترايت فإن القوى العلية للفيزياء هي ترتيبات واقعية. إنها قدرات الطبيعة لاستدعاء آثار معينة تحت ظروف مُعينة[٣]. يقترب الموقف التجريبي عند كارترايت من الواقعية العلية. إنها تقترح شرح

---

(١) ومع ذلك يُظهر كارير (Carrier 1991, 1993) أن الإمكانية التنبؤية لنظرية ما لا تُقيد بشكل كافٍ ما تشتمل عليه من أنواع القوى العلية. فبإمكانك أن تُفسر ظواهر سعرية مُعينة بافتراض وجود الفلوجيستون محل الحركة الجُزيئية. كما يُمكنك أن تُثبت مسمارًا في الحائط بحذاء بدلاً من المطرقة.

(٢) تسير كارترايت (Cartwright 1989, 163-182) على نهج مل (Mill 1872). كما نجد نهجًا متصلاً لدى ماكي (Mackie 1980). وهو يختلف عن آراء كارترايت في نقطة واحدة حاسمة. ولكي ندمج العلية في التجريبية، نكون بحاجة إلى تفسير عشوائي للعلية، من قبيل رؤية هيوم للاعتياد أو تحليل ماكي Mackie الشرطي. تؤكد كارترايت (1989, 25) في غمار رؤية ضد-هيومية أن آراء مل (وآراء كارترايت نفسه) لا تُرد إلى مجرد نظرية للاعتياد لتفسير العلية. انظر أيضًا: Falkenburg and Schnepf 1998.

(٣) ثمة دفاع عن فرضية أن الفيزياء تهدف إلى وصف المواقف في: Cartwright 1989. Hiittemann 1997, 145-151.

مكتبة الفكر الجديد

الموضوعات الفيزيائية، والقوى، والمجالات، ... إلخ، من خلال قواها العلية. وينتج عن القوى العلية للطبيعة الظواهر القابلة للملاحظة والنتائج التجريبية في الفيزياء. من هنا، فإن الموجة الكهرومغناطيسية هي القدرة على بث إشارة بسرعة الضوء؛ والجُسيمات دون الذرية تمثل قدرات على صنع نقاط سوداء على شريحة فوتوغرافية أو مسارات للجُسيم في غرفة فقاعية، ... إلخ. أما التساؤلات عن أي نوع من الكيانات تمثله هذه القدرات، أو عن قوانين الفيزياء التي تنتظم وفقًا لها فتظل مطروحة على مائدة البحث.

تؤكد الواقعية العلية السمات الفعلية للواقع التجريبي الذي أكده كانط؛ إذ لا تنتمي العلل غير القابلة للملاحظة للآثار القابلة للملاحظة إلى الواقعية التجريبية بالمعنى التجريبي الضيق. ولكن إذا ما قامت رواية علية بربطها بالملاحظات التجريبية، فإنها تنتمي إلى الواقع التجريبي بالمعنى الواسع. ويُذكرنا هذا المعيار بمسلمات كانط للتفكير التجريبي. فعلى الرغم من أنه أكثر عمومية، يتطلب كانط سلسلة من الإدراكات الحسية المُمكنة[1]، فإنه من الممكن ألا يكون لدينا إدراك حسي للعلل دون الذرية. على الرغم من ذلك، تنتمي العلل غير القابلة للملاحظة الخاصة بالظواهر إلى الفعلية، أو الواقعية العرضية بالمعنى الحرفي تمامًا. إنها تعمل عملها مستقلة عن نوايانا

---

(١) انظر: Kant 1781/87, A 225-226/B 273 : [...] فبإرشاد من التماثلات يُمكننا أن ننتقل من الإدراكات الفعلية إلى الشيء في سلسلة من الإدراكات الممكنة. ومن ثم نُدرك وجود مادة مغناطيسية تخترق كل الأجسام من إدراك أننا جذبنا قطع الحديد [...]".

مكتبة الفكر الجديد

ونظرياتنا. فمن يتبع بحذر الواقعية العلية الكانطية ينبغي أن يدركها من خلال كيانات لدينا عنها معرفة تجريبية محدودة. وهنا يتم الإفصاح عن هذه المعرفة التجريبية في إطار مُسلمات كانط للتفكير التجريبي. إنها تأتي في واقع الأمر، من خلال التفسير التعميمي للملاحظة الذي لم يكتمل على يد كانط.

٢-٥ تعميم الملاحظة

قام العلم الجاليلي منذ بواكيره الأولى على أجهزة الملاحظة مثل التليسكوب والميكروسكوب. ولا تزال السجالات الأخيرة حول الواقعية العلمية تنصب على ما إذا كانت هذه الأجهزة تُتيح لنا الواقعية التجريبية بمقياس جديد. ولقد نمت تفسيرات عمومية للملاحظة في مواجهة الآراء التجريبية أو البنائية الحديثة فى التقليد الأرسطي. وعلى غرار حُجة المطرقة والمسمار لهاكينج التي ناقشناها في القسم السابق، فإن هذه التفسيرات تأتي مصاحبة للواقعية العلية. فتقوم التجارب بأخذ المُعطيات، وتقوم أجهزة الملاحظة بأخذ الصور. ويُمثل أداء تجربة ما تدخلاً. أما أخذ صورة على مقياس جديد فهو عمل من المعالجة المثالية. يفيد التدخل من الموضوعات الواقعية التي تقوم بوظيفة أدوات أخذ المُعطيات. أما الأمْثَلَة فتقوم باستخدام مُناظر للموضوعات الواقعية التي ينتج عنها الصور المأخوذة من قبل الميكروسكوب أو التليسكوب.

مكتبة الفكر الجديد

في عام ١٩٦٢ ذهب جروفر ماكسويل إلى أن أجهزة الملاحظة تجعل من الموضوعات القابلة للملاحظة، أو "الكيانات النظرية"؛ مرئيـــة[١]. وفقًـــا لماكسويل فإن الأمر الحاسم هو أن أجهزة الملاحظة تفتح أمامنا تنوعًا مـــن المجالات. فأجهزة الملاحظة المُتاحة أظهرتنا على طيف من الموضـــوعات على كل المقاييس. فالميكروسكوب ثنائى العين والتلـــسكوبات والتلـــسكوبات الراديوية تجعل الموضوعات مرئية على مسافات شديدة البُعد. بالمثل تجعل النظارات والمناظير المكبرة والميكروسكوبات والميكروسكوبات الإلكترونية والغرفات السحابية ومعجلات الجسيمات متزايدة الطاقة من الجسيمات شديدة الصغر مرئية. وفقًا لهذا المُتصل من أجهزة الملاحظة، فـــإن ثمـــة ضـــمانًا لوجود الموضوعات الفيزيائية على كل المقاييس من المجرات البعيدة وحتى الجُسيمات دون الذرية. على الطرف الآخر من هذه الوجهـــة مـــن النظـــر، عارض فان فراسن أن ينبني أي استدلال على وجود الموضوعات الملاحظة من وجود أجهزة المـــلاحظة، واعتبره اســـتـــدلالاً غير لازم منطقيًّـــا[٢] non sequitur. كما يكشف عن أوجه الاختلاف بين ذيل الدخان لطائرة في السماء ومسار الجُسيم في غرفة فقاعية؛ إذ إننا قادرون على رؤية الطـــائرة التـــي تُسبب ذيل الدخان وهي في المطار، وبإمكاننا تعقُّب مسارها بالعين المُجردة. على النقيض من الطائرة، فإننا غير قادرين من حيث المبـــدأ علـــى رؤيـــة الإلكترون بالعين المُجردة. يؤكد فان فراسن على التمييـــز بـــين "الرصـــد" و"الملاحظة"[٣]:

---

(1) Maxwell 1962, 7.
(2) Yan Fraassen 1980, 14-18.
(3) Yan Fraassen 1980, 17.

مكتبة الفكر الجديد

من الجلي أنه حين يتم رصد جُسيم عن طريق الغرفة السحابية، ويكون الرصد مرتكزًا على الملاحظة، فإن هذا أمر مختلف عن مُلاحظة الجُسيم.

يرتكز هذا النقد على تجريبية فان فراسن. إن ما لا يمكن إدراكه مباشرة بأي صورة ليس خاضعًا للملاحظة. قد يكون هذا مفهومًا ضيقًا جدًّا للملاحظة. ولكن في المثال المُعطى، تدعُم نظرية الكم نقد فان فراسن. فالإلكترون ليس موضوعًا بالمعنى المياكرسكوبي المُعتاد. كما أن أثره ليس مسارًا كلاسيكيًّا. حقًّا يُظهر التحليل الأدق أنه لا ينتج عنه مسار جُسيم بالمعنى المُعتاد يمكن وفقًا له فصل العلة عن المعلول[1]. من هنا ينتمي مفهوم ماكسويل التعميمي للموضوعات الملاحظة إلى واقعية ساذجة وكلاسيكية لا يُمكنها التعامل مع بنية المجال الكمي.

في عام ١٩٨٢ اقترح دادلي شابير تفسيرًا أكثر تعقيدًا للملاحظة التعميمية. لا ينصب تفسيره للملاحظة على أجهزة الملاحظة ولكن على النظريات التي يتضمنها استخدام تلك الأجهزة. إن التركيز على قوانين الفيزياء التي تشتمل عليها ملاحظة ما، يسير على خطى العالمية الفيزيائية لماكس بلانك. ويهدف ذلك إلى تحرير فهمنا للملاحظة من التصورات المؤنسنة. وهي ترتكز، من ثم، على أبستمولوجيا طبيعانية تعتبر العين أداة للملاحظة وتُفسر أي إدراك بشري كنتيجة لعمليات فيزيائية وفسيولوجية عصبية.

---

(١) انظر الفقرة (٦-٦).

مكتبة الفكر الجديد

يقترح شابير فض الاشتباك بين استخدام مصطلح "ملاحظة" في العلم التجريبي عن المفهوم الأبستمولوجي التقليدي للملاحظة، المُرتبط بالإدراك. لا شك أن مفهومًا للملاحظة يرتكز على الممارسة العلمية ومنفصل عن الإدراك سيُصيب الفلاسفة بالإحباط في مناحٍ مهمة. إلا أن مثل هذا المفهوم مُناسب بامتياز ليأخذ في اعتباره اعتماد النظرية في الخبرة العلمية. إنه يُساعد على تحديد في أي الحالات يكون مثل هذا التحميل النظري للخبرة العلمية مُميتًا. إن هذا تحديدًا هو هدف شابير الأساسي حين قدم المعيار التالي للمُلاحظة المُباشرة (إمكانية الخضوع للمُلاحظة) لكيان مجهول (س)[1]:

معيار شابر: يتم ملاحظة (س) بشكل مباشر (أو هو خاضع للمُلاحظة) إذا:

- يتم تلقي المعلومات (أو يُمكن تلقيها) عن طريق مُستقبل ملائم،
- ويتم نقل هذه المعلومات (أو يُمكن نقلها) بشكل مباشر؛ أعني دون تدخل، للمُستقبل من الكيان (س) (الذي هو مصدر المعلومات).

يوضح هذا المعيار مثالاً من الفيزياء الحديثة لجُسيمات الفضاء. يُحلل شابير التجارب الأولى التي قامت بقياس فيض النيوترونات الآتية من الشمس[2]. وفقًا للنظرية الحالية للفيزياء الشمسية، تقوم النيوترينات، في إطار احتمالي مُعين، بمغادرة الشمس والانتشار في الأرض؛ حيث يُمكنها أن تُحدث مقلوب عمليات انحلالات لجسيمات "بيتا"، في إطار احتمالي مُعين، في سائل مُلائم مثل "البيركلوريثيلين". وسائر هذه الاحتمالات قابل للحساب بدقة عن النظريات الحالية للشمس والتفاعل الضعيف. من هنا فإن رصد

---

(1) Shapere 1982, 492.

(٢) كان ذلك حين كانت إمكانية تذبذبات النيوترينو لا تزال تخمينًا نظريًا غامضًا.

مكتبة الفكر الجديد

النيوترينات الشمسية وقياس ترددتها النسبية، وفيض النيوترينات الشمسية يجب أن يُتيح إمكانية دراسة العمليات التي تحدث داخل الشمس. إن قياس فيض النيوترونوات يُستخدم هنا كأدوات لاختبار عملى للنظرية الفيزيائية عن الشمس. (وبالمناسبة، فالنيوترونوات تستخدم هنا كأدوات بحث تجريبي دون أن يتم تصنيعها بمغزى "إدينجتون").

وفقًا لمعيار شابير، تفيد النيوترونات الشمسية في الملاحظة المباشرة لداخل الشمس. وطالما أنه من الناحية العملية ليس ثمة تفاعل للنيوترونات بين الشمس وكشّاف النيوترونوات تحت سطح الأرض، فهى تستوفى الشرط (٢). إن النيوترونات على النقيض من الضوء (الفوتونات) أو الجُسيمات الثقيلة، تفاعلاتها قليلة للغاية. وبناء على ذلك، فهى تأتى من مصدر المعلومات، من داخل الشمس، الى المُستَقبِل (كشاف النيوترينو)، وهو خزان "البيركلوريثلين" تحت الأرض، دون تشويش[١].

ينتج عن ذلك مفهوم للملاحظة يقوم بتعميم المفهوم التجريبي المُناظر لدى فان فراسن على سبيل المثال. ويأتي التعميم على خطوتين: الأولى بغض الطرف عن السمات المُحددة المعتمدة على العقل في الإدراك الحسي (أعني التمييز بين الكيفيات الأولية والثانوية، وطبيعة الأفكار والوعي، ...إلخ)؛ والثانية بإقامة مماثلة بين العملية الفسيولوجية التي تقف من وراء فعل الإدراك، ونقل المعلومات. وفقًا لهذه المماثلة، فإن العين ما هي إلا نوع

---

(١) ومع ذلك، أظهرت تجربة كاميوكاند في عام ١٩٩٩ أن نسبة مُعينة من الفقد المؤكد في النيوترونات الشمسية بين الشمس والأرض، نتيجة لتذبذبات النيوترينو. أنظر ما يلي، وأيضًا: Perkins 2000, 294.

مكتبة الفكر الجديد

واحد من أنواع كثيرة من مُستقبلات المعلومات، والضوء ما هو إلا وسط واحد للانتقال من بين كثرة. فبإمكاننا أن نأخذ صورة موثوقًا بها لما يُحيط بنا عن طريق الكاميرا (ونحن نعلم أن العين تقوم بوظيفتها مثل الكاميرا). بالتماثل، يمكن لتدفق النيوترينات الشمسية أن يُعطينا صورة موثوقًا بها لداخل الشمس. بالمثل يقوم الميكروسكوب الإلكتروني بأخذ صورة موثوق بها لبنية ميكروسكوبية. كما يأخذ وابل الجسيمات صورة موثوقًا بها للبُنى دون الذرية[1]. وفي تلك الحالات كلها، لا يكفي أن نعرف كيف يعمل المُستَقبِل. حين زعم ماكسويل أن ثمة متصلاً للملاحظة، فقد غض الطرف عن واقعة أن ثمة شرطًا إضافيًّا: إن نقل المعلومات يجب أن يكون موثوقًا به. الشرط الثاني لشابير أن يكون نقل المعلومات مباشرًا يستهدف ضمان هذا المطلب. دعوني أُسمي هذا المطلب معيار المصداقية ولنلقي نظرة عن قُرب.

يستهدف معيار شابير إعطاء شرط كاف للمُلاحظة المُباشرة، أو القابلية للمُلاحظة، للكيان "س". وفقا لهذا المعيار، ثمة نظريات ثلاثة يُمكن أن تكون مُتضمنة في تحليل كيف يُمكن أن نلاحظ الكيان "س" مباشرة: "نظرية المصدر، ونظرية النقل، ونظرية المُستَقبِل"[2]. إلا أنها تنطوي على شرط ضروري لما يجعل من الملاحظة مباشرة: إن فعل النقل يجب أن يكون مباشرًا؛ أي دون فقد في المعلومات. [يقول شابير في الاقتباس السابق: "دون تدخل"، في واقع الأمر فالأخذ في الحُسبان أن تذبذبات النيوترينو أو غيرها من الحالات التي تتدخل فيها حالات الكم قد ينتهك شرطه الثاني. وطالما أننا

---

(١) انظر الفصل الخامس.

(2) Shapere 1982, 492.

مكتبة الفكر الجديد

بحاجة إلى تعريف عام لـ"النقل المباشر"، فإنني أُفضل "دون فقد في المعلومات"]. يعتمد هذا الشرط الضروري على نظرية نقل المعلومات. من هنا فإن شرط المصداقية للمُلاحظة المُباشرة بمغزاه لدى شابير يكون:

شرط الجدارة بالثقة: إن ملاحظة الكيان "س" تكون مُباشرة فقط إذا ما كان النقل من "س" إلى مُستَقبِل للمعلومات يحتفظ بالمعلومات الأصلية.

إن مصداقية نوع ما من نقل المعلومات تعتمد بجلاء على معرفتنا بالقوانين الفيزيائية التي تصف فعلاً عينيًّا من النقل. ولا تصير افتراضاتنا حول هذه القوانين موثوقًا بها إلا حين تنتمي إلى هيكل الخلفية المعرفية الفيزيائية الموثوق بها. وعلى درب نزع الصبغة الإنسانية عن معارفنا، فإن ملاحظة كيان ما قد يُمكن تعميمها بطريقة تكون منفصلة عن الإدراك الحسي. والمكسب هنا هو الموضوعية العلمية. والثمن هو التحميل النظري لما يُعد ملاحظة مباشرة. إن تمييز شابير هنا بين "الخلفية المعلوماتية" و"ما هو غير مؤكد" تُصبح حاسمة. فتُعد الملاحظة التعميمية بمغزاها لدى شابير مباشرة فقط إذا ما كانت الخلفية المعرفية الآمنة تخبرنا أن نقل المعلومات موثوق به. وفي واقع الأمر، عادة ما يرتكز تحليل المُعطيات في الفيزياء التجريبية على التمييز بين الخلفية المعرفية الآمنة والنظريات المشكوك فيها، ويتم إنفاق الكثير من الجهد في عمل التمييز نفسه بشكل آمن قدر الإمكان. ومع ذلك، فإذا ما صارت عملية النقل مشكوكًا فيها، فإن معلوماتنا حول مصدر المعلومات يتأثر بشكل حاسم. وحينئذٍ لا يُستوفى معيار شابر لإمكانية الملاحظة المُباشرة.

مكتبة الفكر الجديد

ولنأخذ المثال الذي يُقدمه شابير: إن انتشار النيوترونيوات التى تصدر عن مركز الشمس هو عملية تتذبذب فيها النيوترينات أو لا تتذبذب. فإذا ما تذبذبت النيوترينات بقدر ذى بال، تعرض شرط الجدارة بالثقة للانتهاك. وإذا شككنا فى أنها تفعل ذلك (ونحن لا نعلم ما إذا كانت تفعل أو لا تفعل) فإن نظريتنا للنقل تصير مشكوكًا فيها. وفى هذه الحالة يتعرض شرط "شابر" للجدارة بالثقة للانتهاك.

وفي واقع الأمر، فقد كشفت تسعينيات القرن العشرين عن أن فيض النيوترونيوات الشمسية المُقاس كان أقل كثيرًا من المتوقع. ولم يكن واضحًا ما إذا كانت نظرية الشمس هي الخطأ أو نظرية النيوترينو. وفى عام ١٩٩٩، تأكد وجود تذبذب النيوترينو[١]. والآن أصبح من الواضح أن المعلومات لم تنتقل مباشرة، تبعًا لتداخلات الكم لنوعي النيوترينات. والمغزى هو أن نظرية النقل التى اشتمل عليها تحليل "شابر" لم تكن قائمة على خلفية معرفية آمنة.

من هنا نرى أن معيار شابير للملاحظة المُباشرة يعتمد على خلفيات أبستمولوجية. إنه يعتمد على ما تتمتع به معرفتنا بنقل المعلومات من جدارة بالثقة. ولا ينتج عنه تمييز واضح للملاحظة المُباشرة وعكسها، أي استدلالاً مؤسسًا على الملاحظة – وهو التعبير الذي يستخدمه شابير لما يُسميه القائم على التجربة "بالدليل غير المباشر". يعتمد التمييز على خلفيتنا المعرفية. أما الخط الفاصل بين ما يُعد ملاحظة أو استدلالاً فهو يتزحزح مع تقدم الفيزياء. يؤكد شابير أن:

---

(١) انظر: Perkins 2000, 294.

مكتبة الفكر الجديد

إن توصيف ما يُعد ملاحظًا بشكل مُباشر (مُمكن ملاحظته)، ومن ثم ما يُعد ملاحظة، هو دالة للوضع الراهن في المعرفة الفيزيائية[١].

ومع ذلك، فإن الخط الفاصل بين الملاحظة المباشرة والاستدلال النظري لا يُمكن زحزحته بشكل اعتباطي بطريقة تجعل، في النهاية، من أي نتيجة تجريبية يُمكن اعتبارها ملاحظة مُباشرة للكيان "س". ومن ثم فإن معاملة التمييز بين الملاحظة واللاملاحظة كأمر اعتباطي وغامض تمامًا (كما فعل فان فراسن على سبيل المثال لأسباب أبستمولوجية خالصة، حين انتقد دفاع ماكسويل الشهير عن الكيانات النظرية[٢]) ليس مُقنعًا.

وتقترح الاعتبارات السابقة السؤال التالي: هل من ثمة شروط ضرورية أبعد للملاحظة المُباشرة للكيان "س"، على أساس تحليل شابير؟ وهل تساعدنا هذه الشروط على تحديد ما تمت ملاحظته بمعنى تعميمي تأسيسًا على خلفية معرفية مُثبتة جيدًا، وفقًا لشرط الجدارة بالثقة المعروض عاليه؟ في الواقع، هذا يصير ممكنًا إذا ما ركزنا على القياس وترجمنا معيار شابير للمُلاحظة إلى لغة الكميات الفيزيائية كما يلي:

١- المصدر (س) نظام فيزيائي يتميز بخصائص أو كميات فيزيائية معينة.

٢- المُستقبل هو جهاز القياس.

---

(١) انظر: Shapere 1982, 492. وأيضًا ٥١٧: "إن الخط الأبستمولوجي المهم بين غير الاستدلالي والاستدلالي يتم رسمه في حدود التمييز بين ما يكون لدينا أسباب مُحددة للشك فيه [...] وما يُمكننا أن نبني عليه بثقة".

(٢) انظر: van Fraassen 1980, 14-19, and Maxwell 1962.

مكتبة الفكر الجديد

٣- النقل هو تسلسل لتفاعلات تؤدى إلى القياس.

٤- تتكون المعلومات من قيم مُقاسة للكميات الفيزيائية.

٥- القيم المقاسة للكميات الفيزيائية يُمكن أن تُسند بثقة إلى النظام الفيزيائى محل البحث.

وبدلالة الكميات الفيزيائية، فالملاحظة المباشرة فى نظر "شابر" هى قياس قيم الكميات الفيزيائية التي يمكن بشكل لا لبس فيه أن تسند إلى نظام فيزيائى. ونقل المعلومات هو تسلسل لتفاعلات تؤدى إلى قياس الخواص الفيزيائية للنظام محل البحث. بهذه الطريقة تعمم الملاحظة لتصبح نوعًا من القياس.

وبلغة الكميات الفيزيائية، يجب أن يتم التعبير عن شرط الجدارة بالثقة للملاحظة في جزأين: (أ) الوصف العام لنظام فيزيائي ولتفاعله مع جهاز قياس يجب أن يُعطى بدلالة الكميات الفيزيائية. (ب) ينبغي التسليم بأن هذه الكميات، كما تم قياسها في تجربة فعلية بنتيجة عددية مُحددة، يُمكن نسبتها دون التباس إلى نظام فردي فعلي. وهذان الشرطان معًا ينبغي أن يضمنا أن القيم المُقاسة للكميات الفيزيائية تُناظر الخصائص الفيزيائية لنظام فردي. من الجلي أن هذين الشرطين وثيقا الصلة بإمكانية تأليف موضوعات فيزيائية بالمعنى الكانطي وبمشكلات تأليف الموضوعات في مجال الكم والتي سوف يتم تناولها في الفصول اللاحقة[١]. هنا ثمة جانب واحد فقط من هذه المشكلات يجب التأكيد عليه. يرتبط الشرط (ب) ارتباطًا وثيقًا بالواقعية

---

(١) انظر الفصول من الخامس حتى الثامن، وأيضًا: **Mittelstaedt 1998b**.

مكتبة الفكر الجديد

العلية. إنه يتطلب أن يكون نتاج القياس يُمكن أن يُرد إلى نظام فردى يُسبب تأثيرًا مُعينًا في جهاز القياس؛ لذا، فإنني ختامًا أقترح المعيار العام التالي (الضروري والكافي) لملاحظة نظام فيزيائي:

المعيار العام للملاحظة: يتم مُلاحظة نظام فيزيائى "س" إذا، وفقط إذا:

- ما كانت نتائج القياس تُناظر قيمًا لكميات فيزيائية ذات خصائص مُعينة للنظام "س"، و
- ما كانت ثمة إمكانية لتقديم رواية علية فردية تُظهر أن الكميات المُقاسة يُمكن في واقع الأمر نسبتها إلى نظام فردي يتموضع في منطقة زمكانية مُعينة، مُتاحة لأجهزة القياس الفعلية.

هذا المعيار العام لم يعُد يُميز بين "الملاحظة" و"الملاحظة المباشرة". وعند تعميم الملاحظة على القياس، تكون القضية الحاسمة هى السؤال عما إذا كان من الممكن اقتفاء أثر نتائج القياس وصولاً إلى نظام فردى يعد هو سببها. قد تكون هذه الرواية العلية غير مُباشرة كما تُسلم أكثر نظريات القياس تعقيدًا، طالما أن نظريات القياس هذه تستند إلى خلفية معرفية آمنة ومُثبتة جيدًا، وطالما أنها تُسلم بإفراد نظامًا فرديًا يمكن دون التباس نسبة قيم مُقاسة مُعينة خاصة بكميات فيزيائية إليه.

في الفصول القادمة سيتم العرض بشكل تفصيلي لأي مدى تكون هذه هي الحالة بالنسبة إلى جُسيمات فيزياء الجُسيمات الحالية. وكما سوف نرى، يُمكن حقًا في هذا المشهد مُلاحظة مُكونات المادة دون الذرية التي يتم بحثها في تجارب التشتت لفيزياء الطاقة العالية – على حين نجد أن الإلكترون الذي يصنع مسار الجُسيم لا يُمكن مُلاحظته كعلة فردية للمسار. من هنا، فإن

مكتبة الفكر الجديد

الزعم التجريبي لفان فراسن أن مسار الجُسيم لا ينتج عنه ملاحظة إلكترون ما صحيح. ولسوف نرى أن المعيار العام المذكور عاليه لا يدعم الزعم التجريبي المُناظر بشأن ملاحظة نظام كوارك فردي في واقعة نفّاثة![1].

٢-٦ الواقعية التجريبية للفيزياء

بعد ذلك كله، ما الواقعية التجريبية للفيزياء، وما الواقعية التجريبية في نطاق ما دون الذرة؟ عرضت في هذا الفصل كيف يؤلف العلم الجاليلي الموضوعية العلمية. إنه يفعل ذلك بتجاوز الخبرة بالمعنى التجريبي؛ أعني الإدراك الحسي، بطرق عديدة. أكد ماكس بلانك تحقيق هذا التحرر من ربقة العناصر المؤنسنة في رؤيتنا للواقعية[2]. وتتعارض المناهج العلمية للفيزياء الحديثة تحديدًا مع الرؤية الأرسطية للواقعية التجريبية؛ لذا فإنها في الحد الأدنى تمتلك معرفة عن التفاعل بين الخلفية المعرفية النظرية والأجهزة التقنية، كما أنها في الحد الأقصى تميل إلى الدفاع عن رؤية مُبسطة لما قد يُعد تجريبيًّا من وجهة نظر العلم الحديث. ونظرًا إلى أن موضوع البحث فائق التعقيد، فإن مثل هذه الرؤية المُبسطة تنتمي إلى ما يدعوه هيجل بـ"العقل الكسول". فالفيزياء الراهنة في حالة خلاف مع أي تفسير للواقعية التجريبية ليست مؤسسة على معرفة فيزيائية مُفصلة. وما يُعد دليلاً تجريبيًّا في الفيزياء الحديثة يتغير مع الوقت. إنه يعتمد على خلفية معرفية مُثبتة جيدًا وعلى تقنيات عالية التطور. ونتيجة للتقدم النظري والتجريبي،

---

(١) انظر الفقرة ٦-٥-٢ وأيضًا: Falkenburg 2000a.

(٢) انظر: Planck 1965, 31، والفقرة ٢-١.

مكتبة الفكر الجديد

يصير الأساس التجريبي للنظريات الفيزيائية مُحمـلاً بالنظريـة ومُحمـلا بالتقنية أكثر فأكثر.

اقترحت في الفقرة (١-٣) التمييز بين الواقعي والفعلي، واتخاذ فعليـة الأحداث العارضة كمعيار أبستمولوجي مُستقل للواقعية التجريبية:

> إن فكرة "الحدث" event تقترب بـشدة مـن معيـار الحـدوث العرضي وعدم الخضوع لتصرفنا. فالحدث هو شيء ما يحدث موضعيًا بطريقة تسمى اختلافًا يُمكن ملاحظتـه عـن بيئتـه: كومضة ضوء، أو"طقطقة" فى كشاف "جيجر"، أو بقعة فى لوح فوتوجرافي[١].

إن مثل هذه الأحداث هي في واقع الأمر الأساس التجريبـي لفيزيـاء الجُسيمات الحديثة. فالحدث هو الأساس التجريبي لقياس الموضع؛ فتسلـسل الأحداث المتجاورة هو مسار الجُسيم؛ وتزامن مسارين أو أكثر للجُسيمات هو حادثة تشتت؛ وتراكم عديد من حوادث التشتت يؤدى إلى قيـاس المقطـع، تلك الكمية التى تقابل فيها تجارب التشتت فى فيزياء الطاقة العالية نظريـة المجال الكمى. وسيتم في الفصل التالي بحث التحميل النظرى المتزايد لهـذه القياسات تفصيلاً.

يتعين على المرء أن يُضيف إلى الأحداث العارضـة نتـائج قيـاس، ومُعطيات، وظواهر عارضة. وأيًا ما كان ليس في متناول القـائمين علـى التنظير والتجريب، فإنه ينتمي فعليًا إلى الواقع التجريبي. وعلى وجه التحديد

---

(١) انظر الفقرات ١-٣ و ٣-٣.

مكتبة الفكر الجديد

فإن الانتقال من الميكانيكا والديناميكا الكهربية الكلاسيكية إلى سلسلة من نظريات الكم لم يكن في مُتناول الفيزيائي. ومن منظور قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود، فإن تجربة تشتت رذرفورد، وبنية الأطياف الذرية، فإنه لم يعُد مُمكنًا الاحتفاظ بالبناء الكلاسيكي للواقعية التجريبية. إن البُنى التجريبية لفيزياء ما دون الذرة هي بُنى كمية. وفعليًّا لا تنتج مسارات الجُسيمات عن الجُسيمات الكلاسيكية. مثال ذلك إخفاق النموذج الكلاسيكي لفقد الطاقة للجُسيمات المشحونة في المادة[1]. إن توليد مسارات الجُسيمات لا يُمكن أن يُفسر إلا من خلال العمليات الكمية.

إن تعريف الواقعية التجريبية بالفعلي واتخاذ الأحداث والظواهر والمُعطيات العارضة أدلة تجريبية عليها، قد يخول لنا الخروج ببعض النتائج الختامية العامة المبدئية بشأن السجال حول الواقعية العلمية. (ولن يُمكن الإيغال في نتائج ختامية أكثر تفصيلاً إلا في نهاية الكتاب). إن نظرية الكم تجعل من الأشياء أكثر سهولة إلى حد ما. فيستبعد التفسير الاحتمالي الاعتيادي لنظرية الكم المواقف المتطرفة من الطيف المعروض عاليه في الفقرة (١-٢)، أعني الواقعية الشاملة والبنائية. يكافح كلا الموقفين لمعالجة الانتقال من الفيزياء الكلاسيكية لفيزياء الكم. فالواقعية الشاملة قوية للغاية. إنها مدينة للواقعية الكلاسيكية. إنها تُخبرنا أن الإلكترونات موجودة بشكل موضوعي مثلها مثل الصخور والأشجار. على حين تُخبرنا علاقات عدم التحديد لدى هايزنبرج بالعكس. فالإلكترونات ليست موضوعات بالمعنى

---

(١) انظر الفقرة (٥-٣).

مكتبة الفكر الجديد

الكلاسيكي[1]. وتأتي البنائية على طرف النقيض. إنها ضعيفة للغاية. وتخبرنا أن الإلكترونات لا تنتمي إلى الطبيعة مثل الأحجار أو الأشجار ولكن إلى المُنتجات الصُنعية في معمل الفيزياء. ومع ذلك؛ تُثبت الصور المأخوذة للأشعة الكونية أو من كشاف الجُسيمات عن توقف الوابل أن الإلكترونات تصنع أيضًا مسارات للجُسيم دون التدخل البشري. وتكون المسارات واقعية وموضوعية مثل شيء أو شخص يظهر في صورة. (فهل نقوم بتصنيع الشيء أو الشخص الذي نصوره بالكاميرا؟) كما أن خصائصها الكمية الغربية ليست مُصنعة. إنها ليست في مُتناول القائم الأمين على التجربة، إنها وقائع عارضة.

ماذا عن المواقف الأُخرى؟ فالخيارات أمام الواقعية النقدية، والتجريبية المُعتدلة، والتجريبية الصارمة متروكة مفتوحة. فتأتي الواقعية النقدية في حدود قوانين الطبيعة (الواقعية البنيوية) و/أو القوى العلية (الواقعية العلية). ومن منظور البُنى الكمية، يبدو أنه من المُمكن الدفاع عن الواقعية البنيوية على حين تصير الواقعية العلية مثيرة للجدل إلى حد بعيد. فإذا ما اعتنقنا مفهومًا تعميميًّا للمُلاحظة على النحو المعروض في الفقرة (٢-٥)، فإننا لا

---

(١) بالنسبة إلى الإلكترونات والجُسيمات دون الذرية، تُلزمنا الواقعية الكلاسيكية بتخمينات أنطولوجية غير قابلة للاختبار من قبيل المُحددات الخفية أو العوالم المُتعددة. تتعارض المُحددات الخفية لدى بوميان **Bohmian** مع نظرية مجال الكم النسبوي، على حين يُسلم تفسير العوالم المُتعددة لإيفيرت **Everett** بكل نتائج القياس الممكنة بوصفها فعلية، حتى إن كان واحدًا منها فقط هو الفعلي بالنسبة إلينا. يسعى كل من تفسيري نظرية الكم إلى إعادة تأسيس ما يدعوه بتنام "رؤية عين الله" للواقعية التجريبية؛ انظر: **Putnam 1990, 10-14**.

مكتبة الفكر الجديد

يُمكن أن نستغني عن الواقعية العلية بحثًا عن واقعية ما دون الذرة؛ لذا يتعين علينا أن نبحث بحذر احتمالات إفراد العلل دون الذرية وتأليف الموضوعات دون الذرية. تأتي الواقعية البنيوية في حدود بُنى رياضية مُجردة. إنها بحاجة إلى تفسير فيزيائي يأتي في حدود الكميات الفيزيائية. ومن ثم لا يُمكن إقامة تمييز حاسم بين الواقعية البنائية والتجريبية المُعتدلة. إذ تقوم الأخيرة بقصر معرفتنا التجريبية بالواقعية الفيزيائية على النتائج التجريبية، أي على قيم الكميات الفيزيائية. وحيث إنها بدورها تقوم بخلق بعض البُنى الجبرية (مثل الشبكة البولية Boolean أو الشبكة اللابولية)، ترتد التجريبية المُعتدلة إلى الواقعية البنيوية بُمجرد أن يتم التسليم بجبر الكميات الفيزيائية. علاوة على ذلك، فإن نتائج القياس قد تكون محملة نظريًا ومحملة تقنيًا إلى حد بعيد، ما دامت أنها مؤسسة على خلفية معرفية آمنة.

تُفسر التجريبية الصارمة الواقعية التجريبية (خصوصًا معرفتنا بها) حصريًا في حدود ما يُمكن ملاحظته بالمعنى الحرفي، أي في حدود ما نُلاحظه. إننا نلحظ الآتي في فيزياء الكم: فى الشاشة الوامضة، تحدث الومضات عند زوايا ذات تردد نسبي يُناظر مقطع تشتت "رذرفورد"، وتظهر مسارات الجُسيم على الألواح الفوتوغرافية للغرفة الفقاعية، فيما يتم تصوير أهداب التداخل خلف البللورة، والنموذج الشهير للحيود لتجربة الشق المزدوج يتم الكشف عنه بواسطة كشاف جسيمات يعمل على زمن طويل ويحصي الكثير من الكشوفات على مدى اتساع مساحة الشاشة، وما إلى ذلك.

للوهلة الأولى، تبدو البنى الكمية كما لو كانت الحنطة لطاحونة التجريبية الصارمة. ومع ذلك لم تعُد الفيزياء الكمية متوافقة مع التجريبية

مكتبة الفكر الجديد

الصارمة بأكثر مما تتوافق تلك الأخيرة مع أي من فروع الفيزياء الحديثة. إنها تتطلب في الحد الأدنى نسخة من التجريبية المُعتدلة تُسلم بالنتائج الكمية للقياس، ونماذج المُعطيات الرياضية الملائمة للمُعطيات، واستخدام الإحصاء الرياضي[١]. فلن يُمكن الدفاع عن أي نسخة تقليدية (أرسطية) أو حديثة من التجريبية في ضوء العلم الجاليلي.

ويصير هذا جليًّا في التجريبية البنائية لفان فراسن؛ حيث يتم التسليم باستخدام المنهج التجريبي ولكن مع قصر الواقعية التجريبية على الظواهر القابلة للملاحظة والتجارب. من وجهة نظر فان فراسن فإن التفسيرات العلية والملاحظات المرتكزة على الخلفية المعرفية النظرية لا تُسهم بشيء في معارفنا التجريبية. إن لها منزلة الفروض الميتافيزيقية. وهو يزعم أن "ما يُمكن ملاحظته هو أمر مُستقل عن النظرية" [٢]. إلى أي مدى تُسلم هذه التجريبية بالأمْثَلة الرياضية؟ إنها تتضمن قيمًا لكميات فيزيائية[٣]. ومع ذلك فمتى تم تضمين نتائج القياس، فإن نظريات القياس تكون موظفة، ويتم أخذ الخطوة الحاسمة من مُجرد الملاحظات وصولاً إلى الخلفية المعرفية النظرية. تبدو هذه الخطوة ساذجة في فيزياء الكم؛ إذ يكمن المحتوى التجريبي لنظرية الكم في التنبؤ بنتائج القياس التي ينتج عنها بُنى جبرية لما يُمكن ملاحظته كميًّا. بالنسبة إلى فان فراسن فإن هذه البنية الجبرية تجريبية[٤]. إلا أن التعبير "يُمكن ملاحظته" مُضلل؛ إذ يتم تعريف ما يُمكن ملاحظته كميًّا في

---

(١) انظر: Suppes 1962.

(2) Van Fraassen 1980, 57.

(٣) انظر: van Fraassen 1991, 42.

(٤) انظر: van Fraassen 1980, 64-68.

مكتبة الفكر الجديد

حدود قيم التوقع للكميات الفيزيائية. (صوريًّا، فإن ما يُمكن ملاحظته يُناظر المُشغلات في فراغ هيلبرت. تجريبيًّا، فإنها تُناظر الترددات النسبية لنواتج القياس).

تبعًا لهذه الرؤية التي لا خلاف عليها للمُحتوى التجريبي لنظرية كمية، لا يُميز فان فراسن بين الظواهر الكمية القابلة للمُلاحظة والبنية الجبرية لما هو قابل للملاحظة كميًّا. وعند هذه النقطة تلتحم تجريبيته البنائية بالواقعية البنيوية. فهو يذهب إلى أن البنية التحتية التجريبية للنظرية تكون حاسمة. إنها تكمن في "قابلية البُنى للتعريف من مُعطيات القياس"، وهي ترتكز على الكميات الزمكانية[1]. ومع ذلك، فإن خطوة إدماج المُعطيات التجريبية المنعزلة في البنية التجريبية لا تكون ساذجة في فيزياء الكم. فكر في مسار جُسيم في غرفة سحابية. حيث تكون الظاهرة الكمية تتابعًا من القطرات المُلاحظة. وهذا التتابع لا يكون مُتصلاً. إنه يتشكل من قياسات موضع فردية متتالية. ويكون المسار هو الخط المتصل الذي يربط بين نتائج القياس. وتكون البنية التجريبية للمسار هي مسار الحركة trajectory الزمكاني. إلا أن ميكانيكا الكم للمسار تتعارض مع وجود مسار الحركة بالمعنى الكلاسيكي[2]. فمسار الحركة هو بناء كلاسيكي. لا يقبل فان فراسن أن يكون بوسع المرء أن يتحدث حديثًا له معنى عن ملاحظة جُسيم من منظور المسار، على حين يقبل أن يتحدث المرء عن المسار من منظور قياسات الموضوع المتمايزة. إنه ليس واعيًا بأن هذا، وفقًا لمبادئه التجريبية، يكون أيضًا ميتافيزيقا.

---

(1) Van Fraassen 1980, 59-60.

(٢) انظر: **Falkenburg 1996**، والفقرة (٥-٣).

مكتبة الفكر الجديد

تُعد التجريبية الصارمة ملحمة؛ إذ يتعين عليها أن تستغني عن إنشاء مسارات الجُسيمات من القطرات المُلاحظة في الغرفة السحابية أو من البقع على الصور الفوتوغرافية في الغرفة الفقاعية. بعبارة أُخرى، ينبغي أن تكون صارمة إلى درجة تجنب عمل نماذج للمُعطيات من المُعطيات ونتائج القياس للظواهر. إلا أن هذا يعني فقد أي بنية تحتية لنظرية الكم. وفي معرض التركيز على البُنى الكمية الجبرية، يتحول تفسير فان فراسن للبنية التحتية التجريبية للنظرية ليكون أقل ملحمية. وفي واقع الأمر، فإن النظرة التجريبية للعالم على خُطى ماخ أو أرسطو، في عصر الحاسوب (الكمبيوتر) الكمي(*) Quantum Computer والنانوتكنولوجي، لا بد أن تكون مهجورة.

ثمة نتيجة حتمية: إن كل المواقف الفلسفية في السجال الحالي بشأن الواقعية العلمية تُخفق فيما يتعلق بالبنية الكمية لفيزياء ما دون الذرة؛ إذ تستبعد نظرية الكم الواقعية الشاملة والبنائية. فيما تتعارض التجريبية الصارمة مع مناهج العلم الجاليلي. وتدين المواقف الباقية في وجودها للواقعية الكلاسيكية بشكل أو بآخر. ترتكز الواقعية العلية على تفسير كلاسيكي للعلل، وتفترض الواقعية البنيوية والتجريبية المُعتدلة مقدمًا المقاييس الكلاسيكية للكميات الفيزيائية. ومع ذلك، فإن الواقعية دون الذرية ليست

(*) أجهزة كمبيوتر غير تقليدية تعتمد على العمل بأسلوب ميكانيكا الكم، يأمل العلماء في أن تستغل هذه الأجهزة تأثيرات ميكانيكا الكم لتسريع إجراء الحسابات، بل إجراء الحسابات بطرق مستحدثة، وإتمام العمليات خارج نطاق المنطق التقليدي. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

كلاسيكية، إنها تعرض ظواهر كمية نمطية من قبيل تجربة الشق المزدوج الشهيرة بشعاع ليزر أو وابل إلكترونات قليل الشدة.

من هنا فإن السؤال الحاسم هو: في حدود أي مفاهيم يُمكننا إدراك الواقعية التجريبية دون الذرية؟ هذا سؤال كانطي، حتى إن أجبرتنا البُنى الكمية على التخفيف من غلواء القبلي في صورته الكانطية. دائمًا ما أصر نيلز بور على أن المفاهيم الكلاسيكية تظل لا غنى عنها لتفسير ظواهر الكم المُلاحظة. وهو ما أثبته منذ ذلك الحين وحتى الآن فيما يتعلق بالمفاهيم الفيزيائية التي يشملها القياس. ومن أجل جعل مجال ما دون الذرة مُتاحًا تجريبيًّا، فإننا بحاجة إلى المقاييس الكلاسيكية للطول، والزمن، والكتلة، والطاقة. فأي تجربة في مجال الكم تقوم باستخدام أجهزة القياس الماكروسكوبية ونظريات القياس شبه الكلاسيكية. فيما لا يتسنى وصف واقعية مجال ما دون الذرة سوى في حدود الكميات الفيزيائية الكلاسيكية المألوفة، وفي حدود البُنى الرياضية من قبيل فراغات "هيلبرت" أو مجموعات "لاي"(*) Lie Groups. وبقدر ما لا تُناظر هذه البُنى الرياضية نماذج كلاسيكية مألوفة(١)، تُخبرنا البُنى الكمية التجريبية كيف ينهار البناء

(*) تُنسب إلى عالم الرياضيات سوفس لاي **Sophus Lie** (١٨٤٢-١٨٩٩) الذي وضع أسس نظرية مجموعات التحول المتصل. تُمثل مجموعات لاي أكثر النظريات اكتمالاً للتساوق المتصل لموضوعات وبُنى الرياضيات، وهو ما يجعلها أداة لا غنى عنها للرياضيات المعاصرة، وأيضًا الفيزياء النظرية؛ إذ توفر إطارًا طبيعيًّا لتحليل التساوقات المتصلة للمعادلات التفاضلية. (المترجمان)

(١) بمغزى النسخة التعميمية لمبدأ بور للتناظر؛ انظر: **Heisenberg 1930a,b**، والفقرة (٥-٤-٢).

مكتبة الفكر الجديد

الكلاسيكي للواقعية في مجال ما دون الذرة. ولسوف يتضح في الفصول التالية من الكتاب أنه يُمكن فقط إعادة تأسيس الطريقة التي تُشير بها البُنى الكمية إلى الموضوعات الفيزيائية بقدر ما تُناظر "بعضًا" من النموذج الكلاسيكي.

إلى أي مدى يُمكن تبرير الحديث عن واقعية دون ذرية من الأساس؟ فلا يتم ذلك إلا عبر افتراضات واقعية علية مُعينة. إن واقعية ما دون الذرة هي نمط من الواقعية يوجد على مقياس صغير، على مقياس طول بنحو $١٠^{-١٣}$ سم وأقل؛ وينتج عنها ظواهر كمية وبُنى كمية. إن نظرية الكم بناء نظري متسق من هذه الظواهر والبُنى. إنها تُظهر أن واقعية ما دون الذرة لا تتوافق مع الافتراضات القوية للواقعية الكلاسيكية. ولسوف أشرح هذه الواقعية دون الذرية من موقف "وسطي" يُمثل الحد الأدنى من وجهة نظر مناهج العلم الجاليلي. إنها تتأسس على تجريبية مُعتدلة، ويُصاحبها نسخة مُخففة من الواقعية الكلاسيكية. ويمكن صياغتها في حدود الخصائص الفيزيائية؛ كما هو موضح في الفقرة (١-٦). إن نقطة البداية هذه تتفادى الافتراضات الميتافيزيقية القبلية بشأن الحوامل دون الذرية للخصائص الفيزيائية؛ أعني الجُسيمات دون الذرية. والعناصر الكلاسيكية الوحيدة التي تشتمل عليها الأبحاث اللاحقة هي نظريات القياس الكلاسيكية وشبه الكلاسيكية. ترتكز نظريات القياس هذه على تأسيس مقاييس الكميات الفيزائية بشكل شبه كلاسيكي؛ أي كما لو كانت ثمة موضوعات فيزيائية ذات حجم، وكتلة، وشحنة، وكمية حركة، وطاقة مُعينة. (وفي واقع الأمر، فإن المقاييس تؤسس اليوم. بشكل يتجاوز كثيرًا الإتاحة التجريبية؛ أعني نزولاً حتى مقياس بلانك).

مكتبة الفكر الجديد

ومع ذلك، يتعين على المرء أن يتساءل إلى أي مدى يُمكننا أن نعـزو هـذه الكميات المُقاسة إلى جُسيمات ما دون الذرة إذا ما كُنا نُدرك الجُسيمات دون الذرية في حدود القوى العلية التي تدعم الظواهر الكمية.

إن الإجابة عن هذا السؤال الحاسم يجب أن تُخبرنا ما الـذي يُـسبب مسار الجُسيم وماذا عساها أن تكون المُكونات دون الذرية للمادة والـضوء. ولسوف نرى أن تفاصيل الإجابة مُعقدة وتنويرية، مُقارنة بانتظـام الرؤيـة الكُبرى للعالم في الواقعية الكلاسيكية. وحتى يتسنى فهم العلاقة بين واقعية ما دون الذرة وظواهر فيزياء الجُسيمات، فإن الأبحاث المُفصلة في الفصول من الرابع إلى السادس أمر لا غنى عنه. وما يتبقى بشأن جُسيمات ما دون الذرة سيتم إيجازه بشكل تمهيدي في نهاية الفصل السادس. أما البحـث الإضـافي لازدواجية الموجة–الجُسيم في الفصل السابع فهو ضروري من أجل فهم ما يتبقى في النهاية من واقعية ما دون الذرة.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الثالث

ملاحظة الجسيم وقياسه

لكي نفهم الأساس التجريبي لفيزياء الجسيمات المعاصرة فإن البنية الفعلية لمجال ما دون الذرة يجب أن يتم إعادة تأسيسها خطوة بخطوة. إنها مهمة تبعث على الضجر. لقد تم اكتشاف وبحث العديد من الطبقات البنائية للظواهر الفيزيائية عبر قرن من فيزياء الجُسيمات التجريبية. بعض هذه الطبقات كلاسيكية، وبعضها ليس كذلك، والبعض الثالث يقوم بدوره كحلقة وصل. يجب تحليل هذه الطبقات بعناية. كما يجب خطوة بخطوة؛ إيضاح ما يعتبره الفيزيائيون أنفسهم أساسًا تجريبيًّا للمعرفة الحالية بفيزياء الجُسيمات. كما ينبغي إيضاح ما يقصدونه حين يتحدثون عن جُسيمات ومجالات ما دون الذرة؛ إذ ينشأ عن الاستخدام المستمر لهذه المصطلحات في فيزياء الكم مشاكل سيمانطيقية خطيرة. وفي الواقع فإن فيزياء الجُسيمات الحديثة هي الحالة القصوى للامقياسية بمعناها لدى كون[1]. دعونا ندرس الآن الطرق البارعة التي تغلب بها الفيزيائيون على هذه المشكلات، بما نتج عن ذلك من خلق سيمانطيقا فيزياء الكم.

سنتناول بالتفصيل في هذا الفصل أساس ملاحظة جُسيمات الفيزياء. إن لها بنية ذات طبقات؛ إذ تتكون من ملاحظات تجريبية، ومعطيات تجريبية،

---

(1) Kuhn 1962,1970.

مكتبة الفكر الجديد

وقيم مُقاسة للكميات الفيزيائية، وقوانين ظاهراتية. وعلى كل المستويات نجد أن تفسير هذه المكونات بعيد عن الوضوح. وحتى في حالة القائمين على التجريب فإن محاولة وصف ما ينتمي إلى البُنى العارضة لفيزياء ما دون الذرة أمر مُعقد. أما من وجهة النظر الفلسفية فالأمور أكثر تعقيدًا. فالخط الفاصل بين نتائج القياس الفعلي، والظواهر التجريبية، والقوانين الظاهراتية، والملاحظات من ناحية؛ وبناء النظرية من ناحية أُخرى يتزحزح مع مرور الوقت.

فى الواقع تكون هذه الزحزحة في اتجاهين متضادين. وما كان مجرد تخمين نظري أصبح اليوم معرفة تجريبية موثوقة، مثل وجود الذرات والإلكترونات وما يخصها من الديناميكا الكمية. وعلى العكس فما كان يُعد يومًا ما تجريبيًّا بالمعنى الضيق صار اليوم متعاضدًا مع النظريات. مثال ذلك أوزان الأجسام التي طالما قيست منذ آلاف السنين بالموازين. لقد كانت تجريبية قبل مبادئ نيوتن (البرينكيبيا). أما اليوم فقد صارت مفهومًا نظريًّا للميكانيكا الكلاسيكية. أو مثل مسار الجُسيم الذي ناقشناه في الفقرة (٢-٦). إن التحميل النظري في نهاية المطاف معيار سيئ للتمييز بين الخلفية المعرفية الآمنة والافتراضات أو الفرضيات غير المؤكدة[١].

---

(١) فى هذه الناحية، يكون التكوين الفلسفي للعلم فى خطر من فقد النقطة أو المقصود، وفى سياق مناظرة المذهب الواقعي العلمي أصبح حساب "سنيد" لمفاهيم T النظرية (Sneed 1971) مُضلِّلاً، فطبقًا لطريقة فهم سنيد لتكوين النظريات التجريبية خلال 2000 سنة يكون الوزن مفهوم T- النظري للميكانيكا الكلاسيكية، ولكنها تصبح بالتالي خلال ظهور الميكانيكا الكلاسيكية، ويسبق هذا أنها كانت تجريبية خلال ألفي سنة-

مكتبة الفكر الجديد

كيف تتشابك الملاحظة والقياس والنظرية في فيزياء الجُسيمات التجريبية؟

أي الظواهر التجريبية والافتراضات النظرية يُعد حاسمًا في الزعم بوجود جُسيمات ما دون الذرة؟ إن مفهوم الجُسيم حاليًّا – مثله مثل أي نظرية فيزيائية – يتمتع بأساس نظري مزدوج. فهناك أولاً: الأساس المعتمد على الملاحظة بالمعنى التجريبي الضيق الذي يتكون من ظواهر ملاحظة ومقارنتها. وهذا الأساس المعتمد على الملاحظة في فيزياء الجُسيمات يتمثل في طقطقات عداد جيجر، وصور مسارات الجُسيم في الغرفة السحابية (أو الغرفة الفقاعية) وهكذا، أي في الأحداث الموضعية التي ترصدها مجسات الجُسيم وفي الهيئة الزمكانية لتتابعات الحدث. ثانيًا: يتم التوسع في هذا الأساس المعتمد على الملاحظة عن طريق نتائج القياس المحمل بالنظرية للقيم العددية المُقاسة للكميات الفيزيائية ولنماذج معطياتها. وفي فيزياء الجُسيمات فإن هذا التوسع للأساس التجريبي مُضاعف ثلاثيًّا:

(أ) الكميات الدينامية، مثل الكتلة والشحنة بدلالة أي الأنواع المحددة لجُسيمات ما دون الذرة متميزة.

(ب) الكميات الكينماتية (مسببات الحركة) مثل كمية الحركة أو الطاقة المنسوبة إلي مسارات الجسيم المُلاحظ (تسمي "كينماتك" لأنها تختص

=حيث كان قياسها بالطريقة نفسها باستخدام الميزان، والمغزى هو أن اختلاف "سنيد" بيّن المفاهيم القبل – نظرية T– والنظرية نفسها تعتمد على النظرية.

مكتبة الفكر الجديد

بمسببات الحركة النسبوية والتي تصف انتشار الجسيمات وتصادماتها أو موجات الطاقة العالية كما في ظاهرة كومبتون).

(ج) كميات أخرى، والتي يتم الحصول عليها عن طريق تحليل المسارات الجسيمية بدلالة الكميات الكينماتية والدينامية والتي تناظر ما يقابلها في نظرية مجال الكم.

يسمي تعيين هذه الكميات الخاصة بمسارات الجسيمات بتحليل المُعطيات. ويشتمل هذا التحليل للمعطيات على نظريات القياس، وترتكز هذه بدورها على خلفية معرفية نظرية مُعقدة؛ حيث تزايدت الخلفية المعرفية جوهريًّا على مدار قرن من فيزياء الجُسيمات. وفي العقود الأخيرة الماضية، لم تعُد مسارات الجُسيم خاضعة للملاحظة بالمعنى التجريبي الضيق. فيتم تسجيلها إلكترونيًّا، وإعادة تأسيسها عبر برامج الكمبيوتر، وينشأ عن ذلك التوسع بشكل أبعد في التحميل النظري للأساس الملاحظاتي:

(د) قد تم الحصول على مسارات جسيمية أعيد بناؤها بالكمبيوتر عن طريق النتائج المرصودة إلكترونيًّا بواسطة الغرف الشرارية والغرف التدفقية والعدادات الوميضية أو أنواع مختلفة من العدادات الجسيمية الإلكترونية.

بأي معنى تتعامل الفيزياء الجسيمية مع الجُسيمات؟ عندما فحصت النظريات المكتشفة المفاهيم الجسيمية الشائعة، أصبح من الواضح أن المفهوم

مكتبة الفكر الجديد

الجسيمى حاسم[1]، وتقوم العدادات الجسيمية برصد الأحداث الموضعية ذات الموضوع ومسارات الجسيمات ذات الموضوع.

عندما بدأ ملاحظة الأحداث الموضعية وتتابعاتها في أجهزة معملية للفيزياء دون الذرية، فصوحبت بجسيمات ذات مكونات جزئية للمادة، وطوقت الظواهر الملاحظة بإحكام فى البناء الرياضي للميكانيكا الكلاسيكية طبقًا للكميات الدينامية والكينماتية (أ)، (ب) يأتى أي دليل تجريبي للجسيم دون الذري بجزئي الأساس التجريبي للمفهوم الجسيمي وهما الأساس المشاهد ونظريتها المحملة الممتدة (أ) – (د) لقد زادت الخلفية المعرفية النظرية للجسيمات دون الذرية بضخامة خلال قرن فيزياء الجسيمات. لقد أصبح أساس الملاحظة ونظريات القياس لفيزياء الجسيمات إحداثًا أكثر وأكثر لنظرية محملة؛ أي أن أساس الملاحظة كان نظريًا، وبالامتدادات (ج) و(د)، عادت ظواهر فيزياء الجسيمات إلي النتائج النظرية والبناء الحسي، وفيما يلي سوف أقوم بتحليل بعض المراحل الحاسمة لهذه العملية عن طريق توضيح مفتاح المفاهيم النظرية والظواهر الملاحظة والنظريات المقاسة الموجودة في التحديدات الجسيمية، إن البناء السلس للعلاقة بين المشاهدات التجريبية والبناء النظري تم توضيحه عن طريق الوسائل التاريخية للحالة المدروسة.

تقع نقطة البدء المفهومي في اثنين من المفاهيم الجسيمية العامة، يعرف أولها بدلالة جزئية وكلية، ويعرف ثانيها بدلالة العلة والتأثير، وقد سارا يدًا بيد منذ بدايات فيزياء الجسيمات الحديثة، وارتكزا على مبادئ الطرق

---

(١) انظر: الفصل السادس، فى الفقرة (٦-٣).

مكتبة الفكر الجديد

المنطقية الأساسية للفيزياء الحديثة فقرة (٣-١)، والطريقة التي اتحدا بها في قانون الميكانيكا الكلاسيكية باتت حاسمة فيما ترصد كدليل تجريبي للجسيم، فكانت قوة لورنز حاسمة في اكتشاف الإلكترون عام ١٨٩٧، وبالطريقة نفسها كان المبدأ النسبوي لحفظ كمية الحركة والطاقة قاطعًا في قبول المجتمع العلمي للفروض الكمية الضوئية لأينشتين فقرة (٣-٢)، على قاعدة هذه الحالة المدروسة فإن أنواع الافتراضات النظرية الموجودة في التعريفات الجسيمية تم تحليلها، وإنها ترتبط بإمكانية مواضع الجسيم وبمدى تطبيق الديناميكا الكلاسيكية للكتلة النقطية عليها، وقد أوجدوا عدة أنواع من الدلائل التجريبية للجسيمات التي أصبحت نظريات محملة في ازدياد مضطرد ومعقد خلال تطور فيزياء الجسيمات: القياسات الموضعية والمسارات الجسيمية وأحداث التشتت أو الاستطارة ورنينيات الجسيمات غير المستقرة. في ظل الخلفية المعرفية لهذه الدلائل المتنوعة والتي تم التأكد منها جيدًا تواجدت النظرية الكمية وذهبت في ازدياد مضطرد فقرة (٣-٣)، وبعد هذا الحصر السلس للتعريف الجسيمي بأساسياته التجريبية والنظرية تم توضيح تحليل نتائج المسارات الجسيمية عن طريق المزيد من الدراسة للحالتين، لقد عرفت الخطوة التاريخية القاطعة التالية نوعًا جديدًا من الجسيمات من طبيعة مسارها؛ حيث اكتشف البوزيترون بواسطة أندرسون في عام ١٩٣٢، وقد نتج من تجربة دقيقة، ومع هذا فقد اعتمد على الملاحظة اللحظية وعلى نظرية قياسية بسيطة ولا تعتمد مطلقًا على معادلة ديراك فقرة (٣-٤)، وكان المزيد من الخطوات السلسة الحاسمة المرتبطة بالتعريف الجسيمي مسببًا لارتباك أحداث الكوارك المفردة الناتجة من الأحداث الاستطارية المسماة

مكتبة الفكر الجديد

بأحداث نفاثة (فقرة ٣-٥)، وفي النهاية فإن السؤال الفلسفي قاوم وجود الجسيمات دون الذرية المدروسة بدلالة مناقشة الواقعية العلمية، وفي ظل التجريبيين والبنائيين (المكونين) المناوئين للواقعية العلمية المُعتدلة.

٣-١ ثنائية المفهوم الجسيمي

المفهوم الجسيمي الشائع فيما قبل النظرية يحمل اثنين من المعاني، والمعنيان في فهم التجريبيين للفلسفة العلمية لم يسبقا النظري وكلاهما فلسفي وقد استنتجا من افتراضات وضعية مسبقة -ميتافيزيقا الفيزياء الحديثة والعلم الجاليلي على التوالي، وقد فعلوا ذلك حقًا بارتكازهم على مبادئ الميريولوجيا والتحليل العلي للظواهر التي تخص مبادئ الميريولوجيا الذي لا غنى عنه للفيزياء ودرست في فقرة (١-٥) وهي لا تعتمد على المشاهدات التجريبية ولكن جعلوها ممكنة، بهذا الحس كانوا قبليين بالمعنى الكانطي، كان المفهوم الميريولوجي للجسيم تقليدي، ونبع من فلسفة الطبيعة القديمة، وقدمها نيوتن في إدراكه لقاعدته الثالثة في الفلسفة والتي سمحت بتصميم الكميات الشاملة لجميع الأجسام الماكروسكوبية (الكبيرة) وحتى الذرات[١]. منذ بدايات الفيزياء الحديثة وهي تسير يدًا بيد مع المفهوم العلي للجسيم، توقع نيوتن أن ذرات المادة والضوء هي علة تفاعل المادة والضوء[٢] ومنذ قرن مضى أصبح المفهوم الجسيمي حاسمًا، إن الأحداث الموضعية الملاحظة في الظواهر التجريبية للفيزياء دون الذرية يعود مسارها للجسيمات التي سببتها.

---

(1) Newton 1687,795-796.
(2) Newton 1730,370-374.

مكتبة الفكر الجديد

المفهوم الميريولوجي للجسيم[1]: الجسيمات هي الأجزاء المكونة للمادة أو الضوء. يبنى هذا المفهوم الميريولوجي للجسيم على العلاقة الجزئية – الكلية، فالجسيمات عبارة عن أجزاء ميكروسكوبية من أشياء ماكروسكوبية شاملة، ويعود تاريخ هذا المفهوم إلى عصر الذرة القديم وقد أخذ به في نظريات المادة للقرن السابع عشر (جاليليو وديكارت) وفي الضوء (نيوتن). ما قبل الاكتشاف التجريبي للإلكترون ولجسيمات ألفا (α) وللنواة الذرية فإن هذا المفهوم التقليدي لم يكن له مكون تجريبي.

المفهوم العلي للجسيم: الجسيمات مسببات الأحداث الموضعية في الكاشفات. يبنى هذا المفهوم العلي على علاقة السبب والتأثير المصاحب بعملية ديناميكية، ويطبق على الأحداث الموضعية للفيزياء دون الذرية التي يتم شرحها في دلالة علية، وعن طريق هذا المفهوم العلي يأخذ المفهوم الميريولوجي للجسيم معني تجريبيًّا، ويشرح المفهوم العلي للجسيم الأحداث الموضعية المتتابعة في كشافات الجسيمات، فالجسيمات الناتجة من النشاط الإشعاعي الطبيعي أو الأشعة الكونية أو مفاعل نووي أو معجل الجسيمات تجعل عداد جيجر يطقطق، فإنهم ينتجون مسارات جسيمية في الغرفة السحابية وفي المستحلب النووي أو في الغرفة الفقاعية فيحدثون تيارات مقاسة ووميضًا ضوئيًّا في الغرف المقذوفة والعدادات الوميضية وعدادات شيرينكوف وعدادات أخرى لجسيمات الفيزياء السارية.

---

(١) الميريولوجيا، فى المنطق الحديث: هي المنطق الصوري لعلاقة الجزء بالكل. انظر Simons 1987، وأيضًا المُلحق (هـ).

مكتبة الفكر الجديد

ترجع أصول كلا المفهومين للجسيم إلى الميتافيزيقا التقليدية، فمن وجهة النظر الكانطية كانا مشروطين بإمكانية الخبرة الجسيمية، فانبنى المفهوم الأول على مفهوم المادة وطبقًا لهذا فإن الجسيمات هي أجزاء "المادة أو مكونات جوهر المادة في مدى صغير"، (فإذا تم تصور الضوء أنه يتكون من جسيمات فإنه يتم تصور تكونه من مكونات جوهر المادة أيضًا)، ويبنى المفهوم الثاني على مبدأ العلية والذي كان في الفلسفة التقليدية مصحوبًا بمذهب التحديد، وقد اعتبر الفيزيائيون قياس الأحداث الموضعية وتتابعات الحدث (المسارات) عن طريق العدادات الجسيمية وما هي إلا بصمات الجسيمات دون الذرية، وهي تشير إلى شيء مجرد حدوثه أو تكرار إعادته هو تفاعل موضعي مع مادة العداد الجسيمي، وهذا الشيء يسمي جسيمًا، وبهذا الرد فإن المعنيين يتلاقيان أو يتصلان.

إن نظرية الجسيمات تجعل هذا الاتصال واضحًا ويهدف إلى مرجعيتها للموجودات غير المُلاحظة وهي عبارة عن أجزاء ميكروسكوبية من المادة المسببة للظواهر الماكروسكوبية في العدادات الجسيمية. النظرية الجسيمية للمفاهيم الميتافيزيقية للمادة ومسبباتها هي نقطة ميكانيكية كلاسيكية، ومع هذا فإنها تعود بهذه النظرية وافتراضاتها الميتافيزيقية المهمة التي وصفت مسبقًا بأنها أيضًا قوية[1]، وإنه لتجاهل لتاريخ الفيزياء بأن المفهوم الجسيمي المسبب تماما والذي رسخ الفيزياء الجسيمية التجريبية ومن ثم جعل الميتافيزيقا تعود بالفيزياء في النهاية لوضع لا سند له[2].

---

(١) انظر: Mittelstaedt 2006

(٢) تبين نظرية الكم أن مفردات السبب لمسار الجسيم يصعب حله بطريقة كبيرة، انظر الفصلين الخامس والسابع (الفقرة ٥-٣)، و(الفقرة ٧-٦).

مكتبة الفكر الجديد

افتراض أن الجسيم موجود له تأكيدات مشاهداتية في أحداث موضعية ملاحظة في العدادات الجسيمية، الدليل العملي أو بصمة الجسيم تكون مربوطة بالمفهوم العلي الجسيمي والنتيجة تكون ملاحظة بينما يستنبط السبب طبقًا لمبدأ العلية.

لقد أيد المفهوم العلي الجسيمي الظواهر الموضعية الملاحظة في العداد الجسيمي برواية علية، وبهذه الطريقة أحدثت الملاحظة للجسيمات في الإحساس العام للمشاهدات التي تم شرحها في الفقرة (٢-٥). إن الأشياء التي تعزى للمفهوم الجسيمي العلي في النظرية الفيزيقية وصفت بدلالة الكميات الفيزيائية مثل الكتلة والشحنة أو الطاقة، وقد حدد بطريقة قاطعة نوع الجسيم بخصائصه بواسطة قيم الكميات الديناميكية. في الوقت الحاضر يتم التمييز بين الجسيمات المتنوعة بدلالة الكتلة أو الطاقة المغزلية والندية وعدة أنواع للشحنات (شحنة كهربية ونكهة ولون)، هذه الشحنات تحدد ثوابت الربط لتفاعلات الجسيمات دون الذرية (الكهرومغناطيسية والتفاعلات الضعيفة والتفاعلات القوية)، سبق افتراض تحديد الجسيمات في نظرية القياسات لهذه الكميات، وترجع قيمها إلى نوع الجسيم دون الذري الذي يعتمد على قوانين حفظ الديناميكا الفيزيائية المصاحبة وتعتمد على المفهوم الميريولوجي وترجع الكتلة أو الشحنة إلى الأجزاء المكونة للمادة (أو الضوء) كما لو كانت كتلة أو شحنة للأجسام الماكروسكوبية المجمعة من كتلة وشحنة الإلكترونات والبروتونات والنيترونات.

وحتى نكون أكثر دقة فإن الأجزاء المكونة للمادة تعني تحقق مجموعة قواعد محددة لكميات النظام المكون للجسيمات دون الذرية، ومثل هذه

مكتبة الفكر الجديد

المجموعة من القواعد تكون أكثر تعقيدًا بصفة عامة عن تلك المجموعة البسيطة التي تنطبق على الكميات المقابلة للأجزاء المكونة للذرات الكيميائية، وكلها قد تكون أكبر أو أقل من مجموع أجزائها، على سبيل المثال، فإن كتلة نواة الذرة أقل من مجموع كتل عدد بروتوناتها ونيوتروناتها، تخلص القاعدة إلى أن كتلتها تعتمد على مبدأ حفظ الطاقة، فهي تأخذ في الحسبان الطاقة الرابطة والطاقة النسبوية المكافئة للكتلة، وبسبب طاقة الربط فالنواة تعمل كنظام مربوط بأكثر ثباتًا عن التجميعة المجردة لأجزائها المكونة؛ حيث تحمل طاقة أقل نتيجة الكتلة المكافئة وطاقتها وبالتالي تكون كتلتها أقل أيضًا. الفرق الكتلي بين النظام المربوط ككل ومجموع أجزائها يسمى النقص الكتلي، وخلاصة قواعد النموذج الكواركي لجسيمات الفيزياء الشائعة أنها أكثر تعقيدًا.

المفهوم الجسيمي الميريولوجي وخلاصة القواعد تزود النماذج دون الذرية للمادة بدراسة المعاني الفيزيائية، المعاني المألوفة للكميات المثيلة للكتلة والطاقة والشحنة والمعروفة جيدًا للأشياء الفيزيائية الماكروسكوبية تتحقق بالنسبة إلى الأجزاء الميكروسكوبية المكونة للمادة، يفترض أن الكميات الفيزيائية للأشياء الماكروسكوبية تجمع من تلك الجسيمات دون الذرية طبقًا لخلاصة القواعد المعطاة بواسطة الديناميات الفيزيائية المقابلة لها.

عندما تم في النهاية التسليم بقبول النتائج التجريبية لمكونات المادة من الأجزاء دون الذرية فى الفترة التى تدور حول عام ١٩٠٠ وبدا من الدقة الاعتقاد أنها تتبع أو تخضع للقوانين الكلاسيكية المعروفة جدًّا للطبيعة، وعلى وجه الخصوص بالنسبة إلى الجسيمات الكتلية المشحونة والتي اكتشفت في

مكتبة الفكر الجديد

أشعة الكاثود وفي النشاط الإشعاعي وكما في النموذج الذري لرذرفورد أو بور فإنهم وصفوا بدلالة رؤية الميكانيكا الكلاسيكية، ما قبل النموذج الذري لبوهر تم تصور ديناميتها بدلالة الديناميكا الكهربية الكلاسيكية، مع بزوغ النظرية الكمية ثم هجر الديناميكا الكلاسيكية في البداية وبعدها الميكانيكا الكلاسيكية، ومع هذا فقد بقي الوصف التقريبي لمسارات الجسيم ولعمليات مسببات الحركة للتشتت دون الذري وللميكانيكا الكلاسيكية ملائمًا حتي اليوم الحاضر، وما زالت نظريات القياس قائمة على قوانين الفيزياء الكلاسيكية، حتى برؤية النظرية الكمية فإن التجريبيين يعملون في مجال فيزياء الجسيمات وأصبحوا يميلون في التفكير بأن المسار الجسيمي يتسبب عن طريق شيء فيزيائي موضعي، ومع هذا فطبقًا للنظرية الكمية فإن المسار هو فقط سلسلة من القياسات الموضعية المتتابعة وأن الجسيم المسبب للمسار الخاص به لم يبق في حالة كمية موضعية بعد قياس موضعه، وتعاد القياسات الموضعية محددة قيمة معينة للكتلة أو الشحنة أو الطاقة في كشاف جسيمي، ولكن القياسات الموضعية المتتابعة والتي تصنع المسار لا تتصل بواسطة المسار الكلاسيكي[1].

طبقًا لقيم الكتلة والمغزلية والندية والشحنة (الشحنات) والتي قيست فعليًا من البيانات الخاصة بالمسارات وأنواع الجسيمات دون الذرية وتم تمييزها وفي أغلب العموم كانت الشحنة الكتلية للإلكترون والنيوكليونات الأكثر ثقلاً والبروتون والنيوترون المكونين للنواة الذرية والفوتون كجسيم عديم الكتلة أو المجال الكمي للضوء (والإشعاع الكهرومغناطيسي بصفة

(١) انظر الفصلين الثالث والخامس، الفقرتين (٣-٣-٢، و٥-٣).

مكتبة الفكر الجديد

عامة) والنيوترينو المتولد من عمليات اضمحلال بيتا (β) لنواة الذرة، وطبقًا لمعلومات التجارب الحديثة فإنها ليست لا شيء بل لها كتلة صغيرة جدًّا[١] .

إضافة إلى وجود حالات جسيمية واضحة والتي تصاحب أيضًا بكتلة أو طاقة أو مغزلية أو ندية وشحنة (شحنات)، وقد افترض في تجارب التشتت (الاستطارة) عند زيادة طاقات المستويات الكمية غير المستقرة أنها تحدث حالات رنينية والتي تظهر عند طاقة التشتت المعطاة، وتوجد الكواركات التي تتشكل كمراكز تشتت شبه نقطية لتشتت الليبتون – نيوكليون وتشتت النيوترينو كذلك في مثل مسببات الأحداث النفاثة، لقد أصبح القياس للرنينيات والكواركات في حالة عالية من الإدراك والدراية، وسوف تشرح مبادئها في الفقرتين (٣-٣، و٦-٥).

٣-٢ الدليل على وجود جُسيم: مثالان تطبيقيان

يملك الدليل التجريبي دائمًا جزأين تقويميين ضروريين، حتى بعد نظرية الكم التى جعلت المفهوم الكلاسيكي الجسيمي يشك في إبقاء هذين الجزأين المقومين مرتبطين عن قرب إلى مفاهيم الميتافيزيقا الجسيمية التي نوقشت من قبل بالفقرة السابقة:

(١) تربط الملاحظة التجريبية للظاهرة المحصورة بالمفهوم العلي الجسيمى.

(٢) التطبيق الناجح لقانون القياس المماثل للجسيم والمبني على الميكانيكا الكلاسيكية لنقطة كتلية يكون مربوطًا بمريولوجيا المفهوم الجسيمي بدلالة خلاصة قواعد الكميات الدينامية المحافظة.

---

(١) انظر : Peskins 2003,3 and 170-179.

مكتبة الفكر الجديد

وكيف تأتي هذه الشروط معًا الآن لتوضح في دراسات ثنائية الحالة، بدأت فيزياء الجسيمات التجريبية باكتشاف الإلكترون ككتلة شحنية، وحيث امتدت فروض أينشتين للكم الضوئي إلى كمات إشعاع كهرومغناطيسي بصفة عامة فكانت مدعاة لقبول الطبيعة الجسيمية للضوء وللأشعة السينية (X-rays) وتم تسمية الجسيم الجديد بالفوتون، وفي كلتا الحالتين لم يقنع الفيزيائيون التجريبون أنفسهم حتى أثبت أن الجسيم موضع التساؤل يكون كمًّا متمركزًا للكميات المنسوبة إليه.

٣-٢-١ الإلكترون

ينبني ما سمي باكتشاف الإلكترون على قياس شحنته وكتلته، وعادة ما يرجع إلى طومسون فى عام ١٨٩٧ عندما كانت المناقشات ما زالت تجرى حول الطبيعة الموجية والجسيمية لأشعة الكاثود التي تولد عند تطبيق جهد عال على قطبي إلكترودي أنبوبة مفرغة. والأشعة السينية لا ترى فيها أشعة الكاثود ولكن تأثيراتها فقط هي التي يمكن مشاهدتها (على سبيل المثال على شاشة التليفزيون وعلى شاشة الكمبيوتر) وقد وصفوا في أمهات كتب الفيزياء التجريبية بطريقة ظاهراتية على النحو التالي:

التأثيرات الغريبة التي تتقدم في خطوط مستقيمة خارجة تاركة الكاثود B ومن ثم تسمي أشعة الكاثود وهذه الحزم الشعاعية غير مرئية، ومع هذا عندما تتواجه مع الزجاج والعقيق والفلوريت والمرجان والعديد من المواد الأخرى تجعلهم يلمعون ببريق له شدة، وهذا السطوع الساقط يظهر بجانب

مكتبة الفكر الجديد

معدن أو لوح ميكا أو هكذا، حتى يكون الحائل صورة كظل، وهكذا توضع عجلات مروحية صغيرة في مسار أشعة الكاثود الذى يحركها[1].

توصف أشعة الكاثود هنا كخطوط مستقيمة متقدمة لظاهرة تكون موضعية أو غير موضعية غير واضحة من المشاهدات، ففي عام ١٨٩٧ عين طومسون النسبة (e/m) بين الشحنة والكتلة لأشعة الكاثود بقياس مقدار انحراف أشعة الكاثود في المجال المغناطيسي ثم تعويض هذا الانحراف عن طريق المجال الكهربي، وقد عين مقدار (e/m) عن طريق حساب قيمة الانحرافين من المعادلة الكلاسيكية لقوة لورنز والتي تفعِل أو تؤثر على جسيم مشحون بشحنة e وسرعة v في مجال كهربي E ومجال مغناطيسي B، وكان لورنز مثل طومسون في الدفاع عن النموذج الذري فقدم مصطلحًا لهذه القوة للفيزياء النظرية قبل عامين فقط من ذلك[2]، وحلل طومسون نتيجة قياسه للمقدار (e/m) والتي تفرق عن الصفر بوضوح تجريبي للطبيعة الجسيمية لأشعة الكاثود وذلك بسبب عدم المقارنة للشحنة المقاسة مع فروض التردد الموجي، وطبقًا للديناميكا الكهربية لماكسويل والكهرومغناطيسية فإن الموجات لا تحمل شحنة.

تحتوى نظرية القياس فقط على مصطلح القوة الخاص بلورنز، وأوصل استعماله لهذا القانون بالمفهوم الجسيمي في الفيزياء الكلاسيكية مع النظرية الذرية الكهربية، وبالنسبة إلى طومسون فإن الإلكترونات عبارة عن

---

(1) Jochmann et al. 1900,417 – (ترجمة المؤلفة)

(٢) انظر: Thomson 1897; Pais 1986,85

وانظر أيضًا : Lorentz/1895 ; Pais 1986,76

مكتبة الفكر الجديد

أشياء ميكانيكية عند مدى صغير والذي من جهة له كتلة قصور ذاتي مميزة m، ومن جهة أخرى يحمل وحدة شحنة أولية e، ويخضع للمعادلة الخاصة بقوة لورنز $F = (q/c)(E+v\times B)$ ومن ثم فقد ركز ميليكان لاحقًا في حسابات عرض استعادي لاكتشاف الإلكترون ووجد أن مفهوم وحدة الشحنة الأولية الكهربية لا تعتمد تمامًا في أصلها على المفهوم الكلاسيكي للجسيم، ففي عام ١٨٩١ قدم ستوني المصطلح "إلكترون" كمسمى للوحدة الأساسية للشحنة المربوطة بالعمليات الإلكتروليتية ، فقط كان مفهوم طومسون للإلكترون هو فى جعل الشحنة الكهربية e لتكون مصحوبة بكتلة القصور الذاتي m[١] وأرجع طومسون أربع خصائص للإلكترون والذي يميزها كجسيم مشحون:

كتلة قصور ذاتي m،

شحنة كهربية e ،

تأثير القوة الخارجية لاعتبارات موضعية أو (الشبه نقطية) و

مسار الزمان مكان التي هي موضوع قانون القوة الكلاسيكية.

طبقًا لـ(١) و (٣) و (٤) فإن الإلكترون نقطة كتلية بحس من وجهة النظر الكلاسيكية الميكانيكية؛ أي أن كتلة القصور الذاتي التي تتمركز في نقطة مكانية وتتحرك على طول مسار كلاسيكي، وطبقًا إلى (٢) فإن لهذه النقطة الكتلية شحنة كهربية والتي تكون متماثلة تمامًا مع وحدة الشحنة الأولية e "للإلكترون" الأصلي وذلك ناتج من العمليات الإلكتروليتية، وهذه

---

(١) انظر أيضًا : Millikan 1917,25-26. Pais1986,73-74.

مكتبة الفكر الجديد

الشحنة تؤهل قانون القوة الذي يحدد المسار الزماني المكاني (٤) إلي المصطلح الخاص بقوة لورنز الكلاسيكي بالنسبة إلى (١)، (٢) معتبرًا خصائص ديناميكية ، بينما (٣)، (٤) تعتبر مميزات زمنية – مكانية للإلكترون ويكون ارتباطهم ببعض بواسطة الديناميكا الكلاسيكية، ولا يوجد شيء يمكن قياسه بمفرده منهم، وما تم قياسه هو النسبة (e/m) وذلك عن طريق الانحرافات الموضعية لأشعة الكاثود طبقًا لقانون لورنز. وعلى وجه الخصوص لم تقاس موضع الكتلة ولا الشحنة المصحوبة بالنقطة الكتلية، ولم يتم لهم ذلك حتى تم الاعتقاد في ١٨٩٧ بوجود وحدة الشحنة الكتلية الأساسية ولم تكن تفهم بواسطة نتيجة القياس لطومسون، ولم تختبر القياسات بأي سبيل فرض أن أشعة الكاثود تتكون من جسيمات ذات شحنة كتلية مفردة وذلك يؤكد فقط نتيجة هذا الفرض المعتبر أن أشعة الكاثود وهو موضوع مؤدٍّ إلى قوة لورنز مع أن نجاح تطبيق هذا القانون يعتبر مؤشرًا قويًّا لوجود الإلكترون ولا يعتبر ذلك كافيًا بالنسبة إلى جميع الفيزيائيين.

قياسات طومسون هي مثال جيد للسبيل الذي تفرض فيه نظرية القياس البناء الديناميكي للظاهرة الملاحظة عمليًّا، وهذا البناء الديناميكي يجعلها ممكنة لتخطو من الشرح الكيفي إلى الوصف الكمي للظاهرة أو سببها.

يعتبر الفرض الجسيمي المعطى أن طبيعة أشعة الكاثود لم يكن في الاستطاعة تفسيرها في مقاطع أخرى، فقد تحققت قياس النسبة (e/m) تحت الافتراضات المسبقة بأن أشعة الكاثود تتكون من الجسيمات الكتلية المشحونة للشحنة e والكتلة m لقد أعطت القياسات ثابتًا لطبيعة النسبة (e/m) تفسيرًا نظريًّا والتي تعمل على استخدام الفرض الجسيمي، وطبقت قوة لورنز على

مكتبة الفكر الجديد

حامل الشحنة والكتلة وبالتالي دفع تطبيقها لافتراض أنه توجد شحنات كتلية في أشعة الكاثود، ومع هذا فإن الافتراض نفسه يظل غير مختبر في قياسات طومسون، ولاختبار معنى عدم اعتماد قيمة (e/m) المقاسة عليها فإن القياسات المطلوبة والتي تحدد الحامل الفردي للشحنة وللكتلة ناهيك عن الأشعة المقاسة فقط الحاملة للشحنة والكتلة.

لقد وضع توينسند أول خطوة في هذا الاتجاه بمعمل طومسون في العام نفسه. فقد نجح في استعمال أساسيات الغرفة السحابية (المطورة بواسطة ويلسون في عام ١٨٩٥) في تمركز غير كامل لحاملات الشحنة المفردة وعين شحناتهم بغير اعتمادها على الكتلة[١]، إذا كان البخار المشبع الناتج في الغاز المشحون عن طريق التحليل الكهربائي أصبح فوق مشبع بواسطة التمدد فإنه يشاهد تكون قطرات مكثفة فيها، هذه الملاحظة استبقت بافتراض نظرية معقدة للطريقة التي تجعل الجسيمات المشحونة تحمل في الغرفة السحابية، وطبقًا لهذا فإن الإلكترونات تكون جسيمات مشحونة تنطلق عن طريق العمليات الإلكتروليتية للمكونات الجزيئية أو الذرية للمادة المؤدية وتعطى شحنة موجبة، وقد أضيفت المعرفة التجريبية التالية لهذه النظرية، ويمكن للشخص أن يعرف أنه في إمكان البخار المشبع أن يصل إلى حالة فوق التشبع عن طريق التمدد ومن المعروف أنه بالشروط الكمية لتكوين البخار المشبع لبضع قطرات من الماء عند القلب المكثف المتعادل وبالمثل لغير الأيونات المشحونة موجبًا أو سالبًا، وبات قاطعًا أن الغرفة السحابية

---

(١) بالنسبة إلى اختراع الغرفة السحابية بواسطة C.T.R. Wilson ، انظر : Millikan 1917,46 and Pais 1986,86.

مكتبة الفكر الجديد

تستخدم فقط في بناء قياس الجهاز الذي يمكن به ملاحظة حدوث الظـاهرة، ومع هذا فإن حدوث الظاهرة لا تعتمد عليه ولا على تحليلها كميًّا، ولإنجـاز وتحليل القياسات الموضعية للغرفة السحابية هذا يتطلب إقامة دليل معرفـي نظري على الأقل حتى يتم تصميم تجهيزات تجريبية التي تمكن هذه القياسات من التحقيق.

لقد عين تونسند شحنة القطرات المكثفة المفردة بالغرفة السحابية مـن الشحنة الكلية للدفع البخاري وعدد القطرات لوحدة الحجـوم، وقـد قيـست الشحنة الكلية لهذا البخار كهروستاتيكيًّا وتم حساب عدد القطرات مـن وزن السحابة ومتوسط وزن القطرة المفردة[1]، وعلى الجانـب المقابـل لقيـاس طومسون للمقدار، وهو قانون القوة في الميكانيكا الكلاسيكية وتوصيفاتها غير المرتبطـة بالجـسيمات غيـر المرئيـة ولكـن بارتباطهـا بالخـصائص الماكروسكوبية للقطرة السحابية، وحقق طومسون عام ١٨٩٨ أيضًا القياسات المعتمدة على هذا المبدأ[2].

---

(١) لقد ناقش بالتفصيل كل من Townsend 1897, Millikan 1917,43-47 لعمل تونسند التجريبى ، ومع هذا فلم يتم ذكرها فى Pais 1986

(٢) لقد ركز كل من **Thomson 1899 – Millikan 1917,47-52** فى أن القياس كان بطريقة أقل فى مباشرتها عن تلك الخاصة بتونسند: "بدلا من قياس وزن هذه السحابة مباشرة مثلما فعل تونسند، فقد حسبها طومسون عن طريق الاعتبارات النظرية .(...) لقد أوضح الفحص بعناية لتجربة طومسون أنها تحتوى جميع عدم التحديدات النظرية الموجودة فى عمل تونسند، بينما تضيف اعتبارات لعدم التحديدات التجريبية". ومع هذا، انظر، **Pais 1986,86** الذى نسب أول قياس مباشر للإلكترون (e) إلى طومسون (ولم يذكر تجارب قطرة الزيت الأخيرة على الإطلاق بواسطة **Millikan** فإن قياس طومسون للإلكترون واحدة من التطبيقات المبكرة لتقنية غرفة السحابة، فقد حدد=

مكتبة الفكر الجديد

إنه لا يتعين المقدار (e/m) من أشعة الكاثود ولكن تقاس مثل هذه الشحنة فقط من القطرات المكثفة التي ترجع القيمة المميزة للشحنة إلى الموجودات التي تعرف واحدة تلو الواحدة في العداد المخصص لذلك، في الحالة الأخيرة فقط يفترض أن تكون القياسات جيدة للمشاهدات بالحس العام الذي نوقش في الفقرة (٢-٥)، ومع هذا فإن المقدمة المنطقية لأن تكون محل أجزاء الشحنة في الشحنة الحاملة المنفردة هي نفس الباقية غير المختبرة، وجميع القياسات لا يزال الشك باق بها كما تحمل كل قطرة مكثفة منفردة وحدة شحنة أولية (أو على الأقل مضاعفاتها العددية) وتشتتت هذه الشكوك فقط بعد عام ١٩٠٩ عن طريق تجارب ميليكان لقطرة الزيت، أدت القياسات الصعبة والمطولة لأن يستطيع ميليكان تعيين القوة الناتجة من تأثير المجال الكهربي على الشحنة المفردة لقطرة الزيت[١]، وعندما نشر ما عينه من قيمة e أكد طريقة قياسه التي تعتبر أول طريقة لقياس الشحنة لحاملات الشحنة المنفردة[٢].

=عددًا من الجسيمات المشحونة عن طريق العد للقطرات وشحناتها الكلية بواسطة طرق القياس الكهربائية ووصلت إلى **e=6.8x10esu** وهى نتيجة معتبرة جدًّا فى رؤية شىء جديد للطريقة، وأنها دلت على أن طومسون هو المكتشف للإلكترون". ويبدو ترسيخ الحقيقة هذه أنها عمل صعب فى كتابة الفيزيائيين لهذا التوضيح التاريخي.

(١) انظر: **Millikan 1911 ; Shamos 1959,238-249**

(٢) انظر **Millikan 1911,249** ، عن طريق الرجوع إلى المطبوعات المتقدم نشرها: "فى ورقة البحث السابقة تم عرض طريقة قياس الشحنة الكهربائية الأولية والتى تختلف أساسًا عن الطرق التى استخدمت عن طريق المشاهدين الأولين فقط فى جميع القياسات من تلك الشحنة المستخرجة وكانت أحد حاملات الشحنة المنفردة، وقد=

مكتبة الفكر الجديد

لم يستمر ميليكان بنفسه طويلاً في رؤية فائدة لمبدأ طريقة قياسه في تحقيق تجارب الشحنات الأولية المعزولة ولكن بالأحرى في القياسات الدقيقة لقيمة e التي تجعل هذه الطريقة ممكنة، وفي هذا الوقت فإن وجود الإلكترون والمكونات الذرية للمادة محققة جدًّا بالنسبة إليه نتيجة كثرة النتائج العملية من عدة مجالات أخرى عديدة للفيزياء.

٣-٢-٢ الفوتون

لقد ظل مجتمع الفيزياء لعدة سنوات غير متقبل فروض أينشتين لكمات الضوء في ١٩٠٥، ومع هذا وبعد ملاحظات عام ١٩١٩ لانعطاف الضوء بواسطة الجاذبية كما تنبأت النسبية العامة وقد زاد صيت أينشتين بطريقة هائلة حتى منح في عام ١٩٢١ جائزة نوبل، وتم اختيار فروضه للكم الضوئي؛ لأنها صنعت جسرًا لنموذج بور الذري[١]، وقد أعطى جائزة نوبل في عامي ١٩٢١، ١٩٢٢ لكل من أينشتين وبور في الاحتفالية نفسها لعام ١٩٢٢، وبعد ذلك تم تأكيد فرض الفوتون بالتحديد عن طريق إثبات التجربة

=حذف هذا التعديل المصادر الرئيسة لعدم التحديد والذى سمع عنها فى التحديدات السابقة عن طريق الطرق المشابهة مثل تلك الخاصة بما صنعه كل من (**Sir Joseph Thomson , H.A.Wilson, Ehrenheft and Broglie**) والذين استدلوا على الشحنة الأولية من متوسط السلوك فى المجالات الكهربائية والجاذبية لأسراب الجسيمات المشحونة".

(١) انظر: **Wheaton 1983, 279-281.**

مكتبة الفكر الجديد

لتأثير كومبتون[1]، وقد حسمت التأكيدات التجريبية لقانون حفظ كمية الحركة والطاقة للحركة النسبوية، وحققت المعنى نفسه مثل قوة لورنز في تحقيق قياس طومسون للمقدار (e/m)، فقد شرحت نقص تردد أشعة X بدلالة قانون القياس للجسيمات.

لقد مر ما يقرب من عقدين منذ ظهور فرض أينشتين[2] للكم الضوئي وحتى تحقق تجريبيًا الفوتون عن طريق بوث وجيجر[3]، وأطلق العنان في عام ١٩٠٥ لأفكار الفروض الكمية للضوء، وقد استعيدت الفروض النظرية لنظرية انبعاث الضوء لنيوتن المثبتة من فترة بواسطة تجارب التداخل ليونج ونظرية فرينل الموجية للضوء[4]، وفي عام ١٩٠٥ لم يتم اختبارها لأنها لم تتصل بقانون القياس للمسار الزماني المكاني للجسيم، وحتى عام ١٩٢٠ لم

---

(1) Wheaton 1983, 282 – 286.

(2) Einstein 1905

(3) Bothe and Geiger 1925

(٤) انظر: **Einstein 1905,133** : "طبقًا للافتراض المقصود هنا في استرسال تقدم الشعاع الضوئي من نقطة أن الطاقة لم يتوزع انتشارها باتصال على فراغات أكبر وأكبر ولكنها تتكون من عدد محدد من الفوتونات المتمركزة في نقاط فراغية والتي تتحرك دون انقسام وتستطيع أن تمتص وتنتج فقط ككل". قارن ذلك بالكلمات في التساؤلات التي جاءت في نهاية كتاب **III** في ضوء نيوتن "هل تكون الأشعة الضوئية عبارة عن أجسام صغيرة جدًا منبعثة من مواد مضيئة؟". **Newton 1730 , 370 (Query 29)** و"ألَمْ تكن أجسامًا نامية وضوءًا متحولاً إلى شكل آخر وقد لا تكون أجسامًا تستقبل كثيرًا من أنشطة جسيمات الضوء التي تدخل مكوناتها؟" **Ibid.,374(Qnery30).**

مكتبة الفكر الجديد

يؤمن بهذا إلا قليل[1]، وفي ورقة بحث أينشتين المنشورة لعام ١٩٠٥ ظهرت قيمة ساعدت على الكشف المبدئي للفرض الكمي للضوء تسمى بقدرتها التوحيدية، وتشرح بطريقة منتظمة الظاهرة الكهروضوئية وعدة ظواهر تجريبية أخرى والتي تظهر عند تفاعلات الضوء والمادة.

يستطيع الضوء أن يتسبب في إيجاد تيار فوتوني وقد عرف ذلك منذ نهاية القرن التاسع عشر، ومع هذا فلم يكن في استطاعة الفيزياء الكلاسيكية تفسير الطريقة التي يعتمد فيها التيار الفوتوني على تردد الضوء الساقط وشدته، أما طبقًا للفرض الكمي الضوئي لأينشتين فقد نشأ التيار الفوتوني كالتالي: يمتص الضوء في أقسام من الطاقة (كمات) hν وتنساب الإلكترونات بطاقة حركة مقدارها (hν-k) حيث إن k هي الطاقة المنسابة للإلكترون، وقد اختبر ميليكان في عام ١٩١٤ هذا الشرح النظري للظاهرة الكهروضوئية تجريبيًا وأكد ذلك كميًا بدقة عالية[2]، وحيث إن فرض الضوء الكمي غير متصل بقوانين قياس أخرى وأكثر من ذلك أنه تصادم مع النظرية الموجية للضوء، فلم تؤخذ نتائج ميليكان كتجارب تأكيدية لذلك، وينقص الفرض الكمي الضوئي أي تكوين مادي يشير للجسيم، فإنها لم تقاس بقانون طبيعة مماثل للجسيمات ولا بقاعدة ملاحظة متصلة بمثل قانون القياس هذا وبالتالي فقد وصف أينشتين الظاهرة الكهروضوئية عن طريق المعادلة E= hν - k التي انبثقت من النموذج الجسيمي للضوء والذي كون خلفيتها المساعدة على

---

(١) تأتى الفروض النهائية لتفريق الفوتونات من خلال تأثير كومبتون؛ أى أنه بعد عام من حصول أينشتين على جائزة نوبل نتيجة تفسير التأثير الكهروضوئى (حتى ذلك الوقت ظل النظر إلى هذا على أنه قانون ظاهراتى – منطق فينومونولوجى)، انظر . **Wheaton 1983,279-286**

(٢) انظر: **Wheaton 1983,238-241; Trigg 1971, chep.7.**

مكتبة الفكر الجديد

لنائير كومبتون[1]، وقد حسمت التأكيدات التجريبية لقانون حفظ كمية الحركة والطاقة للحركة النسبوية، وحققت المعنى نفسه مثل قوة لورنز في تحقيق قياس طومسون للمقدار (e/m)، فقد شرحت نقص تردد أشعة X بدلالة فانور القياس للجسيمات.

لقد مر ما يقرب من عقدين منذ ظهور فرض أينشتين[1] للكم الضوئي وحتى تحقق تجريبيًا الفوتون عن طريق بوث وجيجر[2]، وأطلق العنان في عام ١٩٠٥ لأفكار الفروض الكمية للضوء، وقد استعيدت الفروض النظرية النظرية انبعاث الضوء لنيوتن المثبتة من فترة بواسطة تجارب التداخل ليونج ونظرية فرينل الموجية للضوء[3]، وفي عام ١٩٠٥ لم يتم اختبارها لأنها لم تتصل بقانون القياس للمسار الزماني المكاني للجسيم، وحتى عام ١٩٢٠ لم

---

(1) Wheaton 1983, 282 – 286.

(2) Einstein 1905

(3) Bothe and Geiger 1925

(٤) انظر: Einstein 1905,133 : "طبقًا للافتراض المقصود هنا في استرسال تقدم الشعاع الضوئي من نقطة أن الطاقة لم يتوزع باتشارها باتصال على فراغات أكبر وأكبر ولكنها تتكون من عدد محدد من الفوتونات المتمركزة في نقط فراغية والتي تتحرك دون تضاءل وتستطيع أن تمتص وتنتج فقط ككل". الرين ذلك بالكلمات في التساؤلات التي جاءت في نهاية كتاب III في ضوء نيوتن "هل تكون الأشعة الضوئية عبارة عن أجسام صغيرة جدًا منبعثة من مواد مضيئة؟". (Query 29) Newton 1730 , 370 وألم تكن أجسامنا نارية وضوءًا متحولاً إلى شكل آخر وقد لا تكون أجسامنا تستقبل كثيرًا من أنشطة جسيمات الضوء التي تدخل مكوناتها؟" (Query30) Ibid.,374.

مكتبة الفكر الجديد

لا من بهذا إلا قليل[1]، وهي ورقة بحث لأينشتين المنشورة لعام ١٩٠٥ ظهرت فيها مساعدت على الكشف المبدئي للفرض الكمي للضوء تسمى بقدرتها التوحيدية، وتشرح بطريقة منتظمة الظاهرة الكهروضوئية وعدة ظواهر جوهرية أخرى والتي تظهر عند تفاعلات الضوء والمادة.

يستطيع الضوء أن يتسبب في إيجاد تيار فوتوني وقد عرف ذلك منذ نهاية القرن التاسع عشر، ومع هذا فلم يكن في استطاعة الفيزياء الكلاسيكية تصور الطريقة التي يعتمد فيها التيار الفوتوني على تردد الضوء الساقط وشدته، أما طبقًا للفرض الكمي الضوئي لأينشتين فقد نشأ التيار الفوتوني كالتالي: يمتص الضوء في أقسام من الطاقة (كمات) hv وتنساب الإلكترونات بطاقة حركة مقدارها (hv-k) حيث إن k هي الطاقة المنسابة للإلكترون، وقد اختبر ميليكان في عام ١٩١٤ هذا الشرح النظري للظاهرة الكهروضوئية تجريبيًا وأكد ذلك كميًا بدقة عالية[2]، وحيث إن فرض الضوء الكمي غير متصل بقوانين قياس أخرى وأكثر من ذلك أنه تصادم مع النظرية الموجية للضوء، فلم تؤخذ نتائج ميليكان كتجارب تأكيدية لذلك، وبنقص الفرض الكمي الضوئي أي تكوين مادي يشير للجسيم، فإنها لم تقاس بقانون طبيعة مماثل للجسيمات ولا بقاعدة ملاحظة متصلة بمثل قانون القياس هذا وبالتالي فقد وصف أينشتين الظاهرة الكهروضوئية عن طريق المعادلة E= hv - k التي انبثقت من النموذج الجسيمي للضوء والذي كون خلفيتها المساعدة على

---

(١) تأتي الفروض النهائية لتفريق الفوتونات من خلال تأثير كومبتون، أي أنه بعد عام من حصول أينشتين على حفازة نوبل نتيجة تصور التأثير الكهروضوئي (حتى ذلك الوقت ظل النظر إلى هذا على أنه قانون ظاهراتي – منطق فينومينولوجي)، انظر Whenton 1983,279-286 .

(٢) انظر : Whenton 1983,238-241; Trigg 1971, chep.7.

لنائير كومبتون[1]، وقد حسمت التأكيدات التجريبية لقانون حفظ كمية الحركة والطاقة للحركة النسبوية، وحققت المعنى نفسه مثل قوة لورنز في تحقيق قياس طومسون للمقدار (e/m)، فقد شرحت نقص تردد أشعة X بدلالة فانور القياس للجسيمات.

لقد مر ما يقرب من عقدين منذ ظهور فرض أينشتين[1] للكم الضوئي وحتى تحقق تجريبيًا الفوتون عن طريق بوث وجيجر[2]، وأطلق العنان في عام ١٩٠٥ لأفكار الفروض الكمية للضوء، وقد استعيدت الفروض النظرية النظرية انبعاث الضوء لنيوتن المثبتة من فترة بواسطة تجارب التداخل ليونج ونظرية فرينل الموجية للضوء[3]، وفي عام ١٩٠٥ لم يتم اختبارها لأنها لم تتصل بقانون القياس للمسار الزماني المكاني للجسيم، وحتى عام ١٩٢٠ لم

---

(1) Wheaton 1983, 282 – 286.

(2) Einstein 1905

(3) Bothe and Geiger 1925

(٤) انظر: Einstein 1905,133 : "طبقًا للافتراض المقصود هنا في استرسال تقدم الشعاع الضوئي من نقطة أن الطاقة لم يتوزع باتشارها باتصال على فراغات أكبر وأكبر ولكنها تتكون من عدد محدد من الفوتونات المتمركزة في نقط فراغية والتي تتحرك دون تضاءل وتستطيع أن تمتص وتنتج فقط ككل". الرين ذلك بالكلمات في التساؤلات التي جاءت في نهاية كتاب III في ضوء نيوتن "هل تكون الأشعة الضوئية عبارة عن أجسام صغيرة جدًا منبعثة من مواد مضيئة؟". (Query 29) Newton 1730 , 370 وألم تكن أجسامنا نارية وضوءًا متحولاً إلى شكل آخر وقد لا تكون أجسامنا تستقبل كثيرًا من أنشطة جسيمات الضوء التي تدخل مكوناتها؟" (Query30) Ibid.,374.

مكتبة الفكر الجديد

لا من بهذا إلا قليل[1]، وهي ورقة بحث لأينشتين المنشورة لعام ١٩٠٥ ظهرت فيها مساعدت على الكشف المبدئي للفرض الكمي للضوء تسمى بقدرتها التوحيدية، وتشرح بطريقة منتظمة الظاهرة الكهروضوئية وعدة ظواهر جوهرية أخرى والتي تظهر عند تفاعلات الضوء والمادة.

يستطيع الضوء أن يتسبب في إيجاد تيار فوتوني وقد عرف ذلك منذ نهاية القرن التاسع عشر، ومع هذا فلم يكن في استطاعة الفيزياء الكلاسيكية تصور الطريقة التي يعتمد فيها التيار الفوتوني على تردد الضوء الساقط وشدته، أما طبقًا للفرض الكمي الضوئي لأينشتين فقد نشأ التيار الفوتوني كالتالي: يمتص الضوء في أقسام من الطاقة (كمات) hv وتنساب الإلكترونات بطاقة حركة مقدارها (hv-k) حيث إن k هي الطاقة المنسابة للإلكترون، وقد اختبر ميليكان في عام ١٩١٤ هذا الشرح النظري للظاهرة الكهروضوئية تجريبيًا وأكد ذلك كميًا بدقة عالية[2]، وحيث إن فرض الضوء الكمي غير متصل بقوانين قياس أخرى وأكثر من ذلك أنه تصادم مع النظرية الموجية للضوء، فلم تؤخذ نتائج ميليكان كتجارب تأكيدية لذلك، وبنقص الفرض الكمي الضوئي أي تكوين مادي يشير للجسيم، فإنها لم تقاس بقانون طبيعة مماثل للجسيمات ولا بقاعدة ملاحظة متصلة بمثل قانون القياس هذا وبالتالي فقد وصف أينشتين الظاهرة الكهروضوئية عن طريق المعادلة E= hv - k التي انبثقت من النموذج الجسيمي للضوء والذي كون خلفيتها المساعدة على

---

(١) تأتي الفروض النهائية لتفريق الفوتونات من خلال تأثير كومبتون، أي أنه بعد عام من حصول أينشتين على حفازة نوبل نتيجة تصور التأثير الكهروضوئي (حتى ذلك الوقت ظل النظر إلى هذا على أنه قانون ظاهراتي – منطق فينومينولوجي)، انظر Whenton 1983,279-286 .

(٢) انظر : Whenton 1983,238-241; Trigg 1971, chep.7.

الكشف وقد تأكدت فقط جيدًا في السنوات التالية بقانون ظاهراتي والذي تأخر على الفهم نظريًّا.

في عام ١٩١٦ ونتيجة امتداد أينشتين في تفسير فرضه الكمي الضوئي بعام ١٩٠٥ فقد أوجد أول نظرية إحصائية لامتصاص الضوء[١] وانبعاثه، وقد مهدت هذه النظرية الأرضية لقبول الفرض الفوتوني لتتبع مكوناتها التجريبية لجزئيتين خاصيتين حاسمتين: فمن وجهة تصل الفرض الكمي الضوئي بالشروط الكمية للنموذج الذري لبور وهي تجعلها تتمكن من استنتاج تردد الإشعاعات الانتقالية في ذرة الهيدروجين[٢] وفجأة تمتد القدرة التوحدية للفرض الكمي الضوئي إلى نطاق الظواهر التجريبية والتي بها أصبح فشل الفيزياء الكلاسيكية واضحًا، ومن جهة أخرى عزا أينشتين للفوتون في ارتباطه بالطاقة $E = h\nu$ وكمية الحركة $p = \hbar k$، حيث k هي المتجه الموجي للموجة الكهرومغناطيسية ذات العدد الموجي $k=2\pi\times\nu/c$ وبهذه الطريقة تصبح العلاقة بين الطاقة وكمية الحركة $E2 = p2c2$ للحركة النسبوية قابلة للتطبيق[٣] ومن ثم اتصل الفرض الفوتوني بنظرية القياس للجسيم النسبوي ذي كتلة السكوني صفر.

ويتقدم هذا الجسيم ليسير بسرعة الضوء، وطبقًا للمبدأ النسبوى لتساوي الكتلة والطاقة وتكون كتلته القصورية $m = h\nu/c2$ ، ويكون تفاعلها مع الجسيمات الأخرى يخضع لقانون الحفظ النسبوي للطاقة وكمية الحركة،

---

(1) Einstein 1917.
(2) Ibid.,124 , equ.(9).
(٣) طبقًا لمفاهيم علم فيزياء الطاقة العالية الحالية، تحتوى الحركة النسبوية للقوانين التى تصف تقدم مسار الجسيمات (الحرة، أى غير المربوطة) بالسرعات النسبوية كما تطبق قوانين حفظ الطاقة – وكمية الحركة فى تفاعلاتها .

مكتبة الفكر الجديد

وطبقًا لحفظ الطاقة – كمية الحركة فيسبب الجسيم ارتدادًا للجسيم الآخر ويقابل هذا الارتداد كمية حركة منتقلة في التفاعل، ونتيجة كمية الحركة المنتقلة هذه فإن الجسيم يفقد طاقة وطبقًا للفرض الفوتوني فإن هذه الطاقة المفقودة ليس لها أي تأثير على الشدة ولكنها تقلل تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي. لتكامل الفرض الفوتوني في الحركة النسبوية أخذت خطوة مشابهة كالتي اتخذت في عام ١٨٩٥ عندما طبق طومسون قانون قوة لورنز على الإلكترونات الذي توقعها كمكونات أشعة كاثود، وأصبح الفوتون الآن موضوع نظرية قياس مطابقًا للجسيمات النسبوية الكلاسيكية لكي تصل انتشار الضوء الزماني– المكاني بقانون الحفظ الذي تحقق في تبادل الطاقة بين كمية حركة الجسيم الكتلي وتردد الفوتون، وارتبط الآن الفرض الكمي الضوئي بالتنبؤ المختبر لكمية الحركة المصاحبة بالطول الموجي وبالترددات الضوئية بالتنبؤ المختبر لكمية الحركة المصاحبة بالطول الموجي وبالترددات الضوئية قبل التفاعل وبعده بين الضوء والمادة، بخلاف الفرض الفوتوني المجرد لعام ١٩٠٥ والذي لم يتح له أن يتأكد بالتجريب المباشر إلا أن الكفاية التجريبية لقانون القياس هذا أمكن اختباره.

لقد جاء التقدم المفاجئ للفرض الفوتوني، في عام ١٩٢٢ عندما طبق كومبتون قوانين الحركة النسبوية لتشتت أشعة جاما والإلكترونات، وقد توافقت تنبؤاته الكمية الظاهرة بشكل يثير الدهشة مع النتائج التجريبية المتوفرة فعلاً[1] كما في حالة اكتشاف الإلكترون فقد حسمت مدى تطبيق نظرية القياس في تماثلها للجسيم وقبولها الفرض الفوتوني في المجتمع

(1) **Compton 1923 and Debye 1923; Weheaton 1983,283-286 ; Mehra and Rechenberg 1982, 512-514.**

مكتبة الفكر الجديد

العلمي، ومع هذا فلم ينظر لهذا بشكل كاف وكانت الكهربية الديناميكية الكلاسيكية في حالة رهان واخترع كل من بور وكرامر وسلاتر نظرية مطابقة لكي يخزنوها[1]، وقد تنبأت بانتهاك حفظ الطاقة – كمية الحركة للعمليات دون الذرية كل على حدة وخزنت الصورة الكلاسيكية في المستوى الاحتمالي فقط (هكذا مهدوا الطريق للتفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم)، ولكي يتحقق الفرض الفوتوني مقابل نظرية الـ BKS لزم الاجتياح التمركز الفوتونات المفردة ذات الطاقة h/ν، وبخلاف قياس وحدات الشحنة الكهربية الأولية الفردية بواسطة ميليكان فإنها لم تطول بعد مجيئها، لقد أثبتت تجربة بوث وجيجر عام ١٩٢٥ أن حفظ الطاقة – كمية الحركة النسبوية لم تتحقق فقط في المتوسط الزمني لتشتت الضوء عند الإلكترونات ولكن أيضًا تحققت لعملية التشتت المفرد، وتأكد كل من بوث وجيجر من حفظ الطاقة – وكمية الحركة في الحالة المستقلة والموضحة عن طريق وسائل العداد التطابقي بأنه في تأثير كومبتون يرتبط الفوتون المفرد فعليًا بالإلكترون المرتد[2] وقبلت التطابقات الدليل التجريبي لظواهر الفوتونات المستقلة.

ولكن هذه ليست القصة في مجملها، فيوجد ما توازى معها بقياسات ميليكان للمقدار (e/m) لمدة تتراوح بخمسة عشر عامًا بعد قبول فرض الإلكترون وبتواز آخر مع تأكيد افتراض النيوترينو بواسطة اضمحلال β غير المباشر وذلك في غضون عقدين ونصف بعد تحقيق فرض النيوترينو، ومنذ الأيام القديمة للنظرية الكمية تم تطوير العديد من نظريات شبه الكلاسيكية لتفاعلات الضوء والمادة، فقد عالجوا الذرة كميًا ولكن مع

---

(1) Bohr etal. 1924
(2) Bothe and Geiger 1925

مكتبة الفكر الجديد

الاحتفاظ بالوصف الكلاسيكي للإشعاع الكهرومغناطيسي، فشرحوا بحق الظواهر التجريبية والتي أخذت كدليل للفوتون متضمنة التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون[١].

"لقد منح أينشتين في عام ١٩٢٢ جائزة نوبل – ليس بسبب نظريته النسبية ولكن لتفسيره للظاهرة الكهروضوئية باعتبار أن الفوتونات شبيهة الجسيمات حيث تصطدم بسطوح المعادن مبعثة إلكترونات، وبانتظام فإن أمهات الكتب تعيد مناقشات أينشتين كإثبات أن الضوء يحمل طبيعة جسيمية، وحتى الآن وبشيء من التهكم فإن استنتاجات أينشتين لم تصل بقوة إلى حد الإقناع أو أن تكون مثبوتة الأهلية[٢]، وبذل ألبرت أينشتين جهدًا حتى يقنع عظماء الفيزيائيين منذ نيوتن وقد استقبل جائزة نوبل لعمل كان من حسن الحظ خارقًا، وأن ذلك الجهد المضاعف لهذا العمل الذي استخدم فيه من قبل أدوات تجهيزية وضحت المفهوم المزدوج الموجي – الجسيمي ولحسن الحظ يكون صحيحًا على الرغم من الخروق"[٣].

---

(١) انظر : Greenstein and Zajonc 1997,23 بما غطتها من المادة العلمية المنشورة، وقد ناقشوا بعض تفصيلات (ibid., 23 - 26)، والنظرية شبه الكلاسيكية للظاهرة الكهروضوئية المطورة بواسطة Lamb و James وسكلي (1969) وكان أهم مدافع بارز للشرح شبه – الكلاسيكي للظاهرة الكهروضوئية هو Planck، وقد أتى شرودنجر 1927 (Schrödinger) بالشرح شبه الكلاسيك لظاهرة كمبتون.

(2) Greenstein and Zajonc 1997 , 23

(3) Greenstein and Zajonc 1997 , 34

مكتبة الفكر الجديد

لقد جاء الإثبات الحاسم للفوتونات المفردة عن طريق التجارب التطابقية للضوء الكمي الحديث في غضون العقود الستة بعد حصول أينشتين على جائزة نوبل[1]، إن المغزى التاريخى لهذا الفوتون هو أنه لم يكن سهلاً تحقيق الدليل التجريبي للجسيمات المفردة، وقد كان ضروريًّا مناقشة هذه المعايير للحالتين المدروستين سابقًا ناهيك عن الشروط الكافية للكشف عن الجسيم، وكان الإثبات الحاسم فقط للجسيمات ظاهرًا مليًّا في إيجادهم واستخدامهم كأدوات في تجارب أخرى[2].

٣-٣ تنظير المُلاحظات

لقد اكتمل بكل تحديد اكتشاف الإلكترون فقط بعد تجارب قطرة الزيت لميليكان، وعلى وجه الشبه اكتمل فقط تحقيق الفوتون بواسطة إثبات حدوث تأثير كومبتون عند مستوى عمليات التشتت المستقل فقد أوضحت دراسات كلا الحالتين تاريخيًّا أن الدليل التجريبي يعتمد على نوعين من الافتراضات النظرية حول الجسيمات ترجع إلى التموضع وإلى الوجهة الديناميكية للكتلة الكلاسيكية:

---

(١) تم تحليل ازدواجية الموجة-الجُسيم فى الفصل السابع، وقد تولدت أول الفوتونات المفردة تجريبيًّا عندما أمكن تحضيرها كجسيمات (انظر الفقرة ٧-٣) عن طريق الفوتون الآخر لزوج الفوتون المتشابك (انظر **Greenstein and Zajonc 1997 – 33 35**) الذى يرجع إلى (**Clauser/and Grangier et al 1986**).

(٢) انظر: ملاحظات تحفظ (**Eddington**) المتعلقة بافتراضات النيوترينو والمعيار الواقعى لـ **Hacking** التى تمت مناقشته فى الفقرتين (٢-٣، ٢-٤).

مكتبة الفكر الجديد

١- نظرية القياس الموضعي: تحتوي هذه النظرية على افتراضات حول احتماليات تمركز الجسيم بواسطة جهاز قياس مناسب، وأنها نظرية حول كيفية عمل تأثيرات موضعية للجسيم المشاهد أو المرئي.

٢- نظرية القياس الديناميكي: وهذا يكون جزء الديناميكا الفيزيائية التى تجعلها قادرة على قياس الكميات الديناميكية للجسيم مثل الكتلة والشحنة.

كما نعلم اليوم أنه لا يمكن فصل النظريتين، وطبقًا لنظرية الكم فلا شيء آخر يكون فيه تمركز الجسيم، ولكن كشف بواسطة وسائل العداد الجسيمى كم معين للكتلة والطاقة أو الشحنة، ويكون هناك فاصل افتراضي حاد بين قاعدة الملاحظة والنظريات القياسية عند غالب الإمكان لبدايات الفيزياء الجسيمية، ومع هذا تؤخذ النظريتين معًا لتخدم تحقيق الشروط الخاصة بالمفهوم العمومي للملاحظة كما هو موضح في الفقرة (٢-٥)، حيث تجعلها نظرية القياس الموضعي ممكنة لملاحظة التأثير الموضعي في العداد الجسيمي والذي يستطيع أن يرجع المسار إلى تمركز سببي مستقل في منطقة معينة للزمان - المكاني، وتجعلها نظرية القياس الديناميكية ممكنة لتعزو لهذا السبب المستقل خصائص الكميات الفيزيائية للجسيمات دون الذرية؛ أي تكون الكتلة والشحنة إلى الإلكترون وكمية الحركة والطاقة للفوتون، وقد عبر عن تحفظين أولهما الشروط السابقة الضرورية فضلاً عن الكافية والثانية طبقًا للنظرية الكمية فلم يستطع السبب نفسه أن يكون مستقلاً مثل الجسيم الكلاسيكي[١].

---

(١) انظر : الفقرة (٦-٦) بالفصل السادس.

مكتبة الفكر الجديد

بعد التأكد من الإلكترون والفوتون في العقود التالية تم تنظير قواعد الملاحظة للفيزياء الجسيمية على نطاق واسع، وقد افترض أن القياسات الموضعية وتخليق المسارات الجسيمية ترجع إلى تفاعل الجسيمات دون الذرية مع ذرات العداد الجسيمي وأن هذه التفاعلات تخضع لقوانين النظرية الكمية، كما تتبنى الخلفية المعرفية لتوليد المسارات الجسيمية وتسير التفاعلات الجسيمة في اتجاه أكثر تطورًا وتعقيدًا، وقد دخلت هذه الخلفية المعرفية المعقدة في نظريات القياس للفيزياء الجسيمية.

وقد كان هذا واضحًا في تحليل المسارات الجسيمية، بكمياتها الدينامية التي تميز مسار أو كتلة وشحنة الجسيم المعني، وهذا واقع حقيقي للتوصيف الكلاسيكي والنظري الكمي للجسيم أو المسار، وكانت بالأصل نظرية القياس للكتلة والشحنة كلاسيكية صرفة، وقد نقحت جزئيًّا في الثلاثينيات والأربعينيات بالقرن العشرين (١٩٤٠ – ١٩٣٠) على أساس المعرفة التجريبية وجزئيًّا على أساس نظرية الكم، وقد ازداد الاحتياج للتقدم في طرق التحليل الكمي لكي يتم فهم المادة الملاحظة من الأشعة الكونية؛ حيث تحتوى على أنواع جديدة من المسارات الجسيمية والتي لا تتفق مع نظريات القياس السابقة ولا مع الافتراضات المرتبطة بوجود هذه الأنواع من الجسيمات، ومن ثم فإن نظرية القياس المطورة في ثلاثينيات وأربعينيات القرن الماضي لتحليل المسارات الجسيمية ما زالت صالحة وتستخدم حتى يومنا هذا، وتطورها هذا أوجد الديناميكا الكهربية الكمية وأصبحت مثالاً أوليًّا للعلاقة بين نظريات القياس المستخدمة في الفيزياء التجريبية وتكوين النظرية الأساسية للظاهراتية الرئيسة والتي تحققت تجريبيًّا، وكان ذلك في بادئ الأمر

مكتبة الفكر الجديد

في حالة انفصال تام، وقد اكتشف البوزيترون أثناء هذه المرحلة لنظرية قياس المسارات الجسيمية (فقرة ٣-٤) باعتبار الحقيقة التي تقول إن كلا النظريتين اللتين لهما التطبيقات المطلوبة نفسها تخلقان صعوبات خطيرة فيما بعد، ومن ثم فقد بذلت جهود ضخمة في إعادة حلهم بواسطة طرق قياس مترابطة ومستقلة مع بعض التطبيقات العملية الجاهزة والمتوافق عليها للنظرية الجديدة فقرة (٣-٥)، وفي النهاية وبعد أن عززت النظرية الجديدة فقد أصبحت متجانسة مع نظرية قياسها وخدمت كنظرية قياس مستقلة لهذا الميدان الجديد.

يرتبط أيضًا تزايد التنظير لنظريات القياس بظواهر فيزياء الجسيمات وباستدعاء الشرح الموضح في الفقرة ٢-٤ والمرتبط بظواهر العلم الجاليلي. لقد أتاحت الدلائل التجريبية لإدخال المزيد وأكثر من نظرية، إضافة إلى أن الجديد فى التقنية وفر أنواعًا جديدة من أجهزة القياس التي تجعل المشاهدات أكثر تحميلاً على النظرية، يتضمن الجسيم في الفيزياء الجسيمية علميًّا تكنولوجيا معقدة جدًّا ونظريات قياسية، حقيقة أن المعلومات المتوفرة في يومنا هذا إلكترونية ويمكن مشاهدتها بوسائل أجهزة الحاسب (الكمبيوتر)، فقد سجلت النتائج الخاصة بتجارب تشتت الطاقات العالية إلكترونيًّا وتم تحليلها بواسطة أجهزة الكمبيوتر، وقد حولت نظريات القياس إلى رموز تلغرافية (كودية) في برامج الحاسب.

وفي مجال الفيزياء الجسيمية تم حصر القياسات الموضعية والمسارات الجسيمية والأحداث التشتتية والرنينيات كدليل تجريبي للجسيمات الأولية، ويتم الأساس التنظيري للمشاهدات بالخطوات النظامية التالية: القياسات

مكتبة الفكر الجديد

الموضعية هي الأساس، وفي بعض الحالات الحاسمة تكون الملاحظة المباشرة بالحس التجريبي الدقيق، كما أن المسارات يمكن مشاهدتها عن طريق وصلها بالقياسات الموضعية المجاورة ويمكن الحصول على الأحداث عن طريق وصلها بمسارات الجسيمات المجاورة أو المرتبطة بها، كما يمكن الحصول على الحالات الرنينية (الرنينيات) من إحصائيات المجموعات الموحدة لأحداث التشتت.

وستشرح لنا المناقشة التالية الجوانب النظرية لهذا التزايد التنظيري وسنوضح بأي حس ما زالت منضبطة في الأخذ بقاعدة الملاحظة للمفاهيم الجسيمية الموجودة.

٣-٣-١ القياس الموضعي

كما في المجالات المختلفة في الفيزياء فإن قياس الكميات الزمانية المكانية تعتبر أساسية في فيزياء الجسيمات، فتظهر لنا أولاً القياسات الموضعية، ففي العقود الأولى لظهور الفيزياء الجسيمية والتي تعتمد مباشرة على ملاحظة الظواهر التجريبية مثل سماع "الطقطقة" في عداد جيجر أو ملاحظة الوميضيات المتسببة من أشعة ألفا الساقطة عليه والتي تستكمل عن طريق ملاحظة الملامح الظاهراتية للقياسات الموضعية المتتابعة مثل شكل ومسافة المواضع المفردة في هذا التتابع والرتبة الزمانية للقياسات الموضعية المتحققة عن طريق القياسات الزمنية، تكون هذه الخصائص قواعد الملاحظة لخصيصة الكتلة والشحنة للجسيمات دون الذرية، (ومع هذا ففي أواخر العشرينيات من القرن العشرين ألحقت هذه الملامح الكلاسيكية للكتلة الشحنية

مكتبة الفكر الجديد

للجسيم عن طريق أهداب التداخل المرئية الناتجة من مرور الإلكترونات في البللورة؛ حيث تؤكد هذه الظاهرة الخاصية الموجية – الجسيمية المزدوجة فى ميكانيكا الكم) يعتمد قياس طومسون للمقدار (e/m) بطريقة عادية على القياسات الموضعية ويقال: تعتمد على قياس الانحراف الموضعي لإشعاع الكاثود الموجود في المجالين المغناطيسي والكهربي، وقد أكد ميليكان في العقد التالي القياس الموضعي بأن قيمة (e/m) قد تنسب فعليًا لحاملات الشحنة المفردة.

ومع هذا فإن تمركز الجسيمات عن طريق العداد كان ممكنًا أيضًا دون أي نظرية معقدة للجسيمات وتفاعلاتها مع العداد.

ولبضع سنين قليلة بعد قياس طومسون لـ (e/m) جاءت بإثبات أول تجربة للطبيعة الجسيمية لأشعة ألفا للفرض الجسيمي السابق فى الملاحظات النظرية المعتمدة على حس التجريبيين الدقيق، وامتد هذا الأساس الحاسم وتم معايرته بواسطة قياس بيرين للحركة البراونية لعدة سنوات قليلة لاحقة[١].

لقد حقق رذرفورد ومعاونوه منذ عام ١٩٠٦ أشهر تجاربهم التشتتية لأشعة ألفا ومكوناتها التي كانت أول جسيمات استطاعت أن تتمركز وتشاهد مستقلة عن أي نظرية قياسية لديناميكيتها وتفاعلاتها مع أجهزة القياس وكما اكتشف كروكس وآخرون في عام ١٩٠٣ الشاشة ذات رقائق كبريتات الزنك والتي بدأت بإظهار الضوء الفوسفوري في الإظلام التام عندما تعرض إلى

---

(١) نتيجة تجارب **Perrin** التى وصفت بدقة فى (**Trigg 1973**) بالفصل الرابع، تمت الموافقة على الفروض الذرية بواسطة المدافعين عن مذهب الطاقة مثل: **Ostwald** انظر: **Macknnon 1982 , 126,27** .

مكتبة الفكر الجديد

أشعة ألفا، وشوهد عن طريق زجاج مضخَم ويمكن تحويل هذا الوميض إلى وميض ضوئي مفرد متنوع. وقد علق كل من رذرفورد وشادويك وإيليس على هذه الظاهرة في كتابهم المرجعي عن النشاط الإشعاعي عام ١٩٣٠ كما يلي:

> بالنظر إلى سطح الشاشة ذات الزجاج المضخم فيرى الضوء من الشاشة بتوزيع غير منتظم ولكن متكون من عدد من النقط الوميضية للضوء المتشتت على السطح ولفترة زمنية قصيرة، وقد اخترع كروكس جهازًا بسيطًا يوضح الوميضيات يسمى جهاز الرؤية الوميضية المغزلي وقد غطيت نقطة صغيرة بخيط رفيع من الراديوم ووصفت على بعد عدة ملليمترات من شاشة كبريتات الزنك والمثبتة عن نهاية أحد الطرفين لأنبوبة قصيرة وتكون الرؤية خلال عدسة عند الطرف الآخر وفي غرفة إظلام يرى سطح الشاشة كخلفية نقطية مظلمة مع نقط لامعة من الضوء والتي تأتي وتروح بسرعة كبيرة جدًا، وقد جاءت هذه التجربة الجميلة بشكل قوى قبل ملاحظة تصميم قذف الراديوم بسيل من القذائف والتي يسبب كل منها وميضًا من الضوء المصطدم بالشاشة[1].

إن وصف المشاهدات لا يماثل العرض المعتاد للكتب المرجعية الخاصة بالفيزياء التجريبية، وقد زاد الوصف الشبيه المعطى بواسطة دوهيم

---

(1) Ruther Ford etal. 1930,54 – 55.

مكتبة الفكر الجديد

لما أدركه ليمان حين انتهى من النظر على كاهل الفيزيائيين التجـريبيين[١]، إن الخطوة من بداية الملاحظة التجريبية وحتى القياس وما يـسميه دوهـيم "رمزية" التفسير للظواهر بدلالة الكميات الفيزيائية[٢] لـم يـؤد هنـا علـى الإطلاق، فلم تكن نظرية انبعاث أشعة ألفا عن طريق الراديوم ولا نظريـة تفاعلها مع كبريتات الزنك تدخل في وصف الملاحظة وحدوثها، ما يوصف هو الأمثلة الكيفية للظاهرة التجريبية ناهيك عن معاييرها المعقدة على شرح الأساس النظري وطرق القياس، ويعتمد فقط إثبات الطبيعة الجسيمة لأشـعة ألفا على السبب الاستدلالي من ملاحظة الوميض على الشاشة الوميضية.

عينت الكميات الدينامية لجسيمات ألفا في التجـارب الـسابقة، وقـد اعتمدت على مبادئ قياس طومسون لـ e/m ، واستخدم رذرفـورد النـسبة E/M للشحنة والكتلة لأشعة ألفا α فيها فـي أول وقـت[٣]، وقـد اسـتعمل رذرفورد ومساعدوه بعد عام ١٩٠٦ الوسيلة الوميضية لقياس زاوية التشتت لجسيمات ألفا المفردة، إن الاختبار التجريبـي لـصيغة التـشتت الـشهيرة لرذرفورد اعتمدت أيضًا على هذه الوسيلة[٤].

---

(١) انظر : تغطية **oft** لوصف الملاحظات التى لاحظها **Lyman** لفعاليات الفيزيائيين فى قياس المقاومة الكهربية للملف الخيطى، (الفصل الثامن و **Duhem 1906**).

(2) Ibid. and (2.1).

(٣) التى لفتت النظر إلى أن الجسيمات هى أنوية هيليوم

Rutherford et al. 1930 , 41-46.

(٤) انظر أيضًا الفصل الخامس

Geiger and Marsden 1913; (Trigg 1971,chap.5)

مكتبة الفكر الجديد

كانت معظم وسائل القياس الموضعي أكثر تحميلا- نظريًّا من تمركز الجسيمات على الشاشة الوميضية، وبعضها يعتمد على عمل التأثيرات الماكروسكوبية لتفاعل الجسيم مع المادة ويتم رؤيته مباشرة طبقًا للخلفية المعرفية ذات العلاقة الرياضية، وقاسها آخرون عن طريق تكبير النبضات الكهربية التي أنتجت، وبسبب النقص في الخلفية المعرفية للعمليات دون الذرية فيما حول عام ١٩٠٠ استعملت نظرية القياسات الموضعية لعمل تأكيدات تجريبية للجسيمات التي كانت في ذلك التوقيت أولية، وأنها أيضًا غير معتمدة على قوانين القياس المنبنى على الديناميكا الكلاسيكية، يتشابك اليوم القياس الموضعي مع العديد من قوانين الديناميكا التي تكون مجموعة معقدة تدريجيًّا من الافتراضات النظرية الكلاسيكية والكمية، وبالمقارنة مع الطريقة الوميضية فإن تمركز الجسيمات المشحونة بوسيلة الغرفة السحابية كانت فعليًّا محملة نظريًّا، وتنبني على نظرية التأين المتصورة في سياق الفيزياء الكلاسيكية، ومع هذا فإنها بالأحرى كيفية وليست كمية، تعتمد العديد من العدادات الجسيمية السابقه بدءًا من عداد جيجر إلى الغرفة الفقاعية وغرفة التدفق على مزيد من التفصيلات النظرية لعمليات التأين التي تتسبب عن طريق مرور الجسيمات المشحونة خلال المادة.

ومع هذا، بقيت نظرية تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة تحت التطوير لعقود كمقارنة القياس الموضعي عن طريق العدادات الجسيمية المبنية على مبدأ التأين وقد مر زمن طويل قبل أن يصبح وصف الكم النظري مفيدًا في إتاحة عمليات التأين[١]، وهذا يوضح كيف أن احتياج قليل من الافتراضات

---

(١) انظر: الفصل الثالث (الفقرة ٣-٤).

مكتبة الفكر الجديد

النظرية لبناء أجهزة قياس سوف يعتمد على إرساء النظرية أثناء ظهور طور النظرية، وفي الرسم البياني التاريخي يسمى المظهر النظامي للتجريبية التقليدية[1] في منهج استقلال الحقيقة، وأنها أحد الأسباب التي تحمل نظرية للقياس الموضعي وقد تعد كجزء لقواعد الملاحظة لفيزياء الجسيمات، ويقع السبب الثالث في أن هذه النقاط المقاسة تشاهد بحس التجريبيين الدقيق، وعلى الرغم من كل هذا التحميل النظري للقياسات الموضعية فإنهم يستطيعون أن يجعلوها مرئية سواء باللوح الفوتوغرافي أو بجهاز الحاسب.

٣-٣-٢ المسارات الجسيمية

كما نقحت نظرية القياسات الموضعية للجسيمات فقد استمر العمل بقواعد المشاهدات لفيزياء الجسيمات، وتم التمكن من ملاحظة مسارات الجسيمات في عام ١٩١٢ وتم تصوير إشعاع α, β لأول مرة في غرفة ويلسون السحابية فشوهدت المسارات الجسيمية على هذه الألواح الفوتوغرافية وتم تمييزها بالمسافة الصغيرة جدًّا بين قطراتها المكثفة؛ حيث كانت قادرة على التحول عند جميع النقط المقاسة، ففي حالة إشعاع ألفا (α) فقط ترى المسارات ولا يوجد قطرات مكثفة على غرف السحابة الفوتوغرافية بينما أمكن تمييز نقط القياس المنفردة لمسارات إشعاع بيتا (β) بوضوح، وتم وصف مسارات جسيمات β و α ظاهراتيًّا في الكتاب المرجعي لرذرفورد وشادويك وإليس في مجال النشاط الإشعاعي والذي ظهر في عام ١٩٣٠.

---

(1) Galison 1987, 6 – 13 and 244 – 255.

مكتبة الفكر الجديد

شكل (٣-١) مسارات جسيمية لأشعة ألفا الملاحظة في غرفة ويلسون

(Meitner, after Grimsehl 1938, 16)

بسبب كثافة التأين، فقد وضح مسار جسيم ألفا (α) كخط متصل من قطرات مائية، ومن وجهة نظر أخرى فإن جسيمات بيتا β السريعة تعطي تأينًا صغيرًا جدًّا لدرجة أن الأيونات المفردة التي تتكون خلال مسارها يمكن عدها[1].

تنشأ أول المسارات الجسيمية من أشعة المصادر ذات النشاط الإشعاعي الموجودة بالمعمل، وأنها تلتقي مع مسارات الجسيمات الآتية من الأشعة الكونية؛ حيث تمد صورها الفوتوغرافية الفيزياء الجسيمية بالمشاهدات المادية الهائلة خلال ثلاثينيات القرن العشرين وخلال الأربعينيات أصبحت المستحلبات النووية متاحة؛ حيث جعلوها قادرة على رصد مسارات الجسيمات المشحونة وطورت صورها فوتوغرافيًّا بدقة قياس إزاحية عالية

---

(1) Ruther ford et al. 1930 , 57.

مكتبة الفكر الجديد

جدًا (في حدود 1μm)[1]، وقد طورت الغرفة الفقاعية في الخمسينيات (١٩٥٠) بواسطة جلاسر[٢] لتجارب التشتت في بداية عهد معجلات الجسيمات وقد صنعت الطريق الآخر إلى الغرفة السحابية: فقاعات غازية في الهيدروجين السائل بدلاً من القطرات المكثفة في البخار وهذه تجعلها قادرة على رصد المسارات الجسيمية المتنوعة وتصويرها في الوقت نفسه، وأن المسارات الجسيمية لا تشاهد طويلاً في صورة العدادات الجسيمية في فيزياء الطاقة العالية السارية وأنها تسجل إلكترونيًا ويعاد بناؤها عن طريق برامج الحاسب.

وقد حلت الآن المعلومات الإلكترونية محل الظواهر الملاحظة أثناء العقود الأولى للفيزياء الجسيمية كذلك فى إعادة بنائها، وبعد العمليات المطولة لتحليل النتائج عن طريق وسائل برامج إعادة البناء أصبحت مرئية وتعرض على جهاز الحاسب وقد بنيت قواعد الملاحظة عند هذه المرحلة السارية في التنظير واعتمدت على الخلفية المعرفية النظرية الكاملة والتي أتيحت حتى يومنا هذا بالنظر إلى تفاعلات الجسيمات المشحونة مع المادة.

كمقارنة للقطرات المكثفة الملاحظة في الغرفة السحابية أو لوميض الضوء المفرد على الشاشة الوميضية والأساس التجريبي للفيزياء التجريبية والممتد فعليًا مع المسارات الجسيمية الملاحظة في المستحلبات النووية وكذلك في الغرفة الفقاعية والمعروضة على جهاز الكمبيوتر، وبالحس الذي نعاير به الواقع التجريبي المعطى في الفقرة (١-٣) للمسارات الواقعية

---

(1) Rassi 1952, 127 – 142; Powell et al. 1959, 26 – 32; Perkins 1989.

(٢) انظر: Pais 1986,491

مكتبة الفكر الجديد

تجريبيًّا، فإن جميع هذه المسارات تدل فعليًّا على البناء الديناميكي لواقع الجسيمات دون الذرية، حتى إن غير الفيزيائيين تعرفوا على المسارات في صور الغرفة الفقاعية أو المعروض على شاشة الكمبيوتر كتأثير سلسلة من الأحداث المتصلة ببعضها والتي هي في الواقع تختلف عن الاتصال غير المنتظم للنقاط المنفردة المقاسة، إن المسارات الجسيمية هي الدليل التجريبي القوى لحقيقة وجود الأشياء الدقيقة المنفردة والتي يكون تصرفها مثل الجسيمات الكلاسيكية الموجودة في الظروف التجريبية المناسبة، وأنها تشير إلى تأثيرات أو لظواهر زمانية – مكانية متفردة فى حدود التحقق عن طريق وسائل القياس والتي يمكن فهمها في أول تقريب بدقة كافية عن طريق وسائل نظرية القياس الكلاسيكية، وطبقًا للخلفية المعرفية المعرفة جيدًا للفيزياء دون الذرية فترجع النقاط المقاسة للمسار إلي عمليات التأين، ويمكن بوضوح للقياسات الموضعية المماسية أن يكون اتصالها عن طريق المسار الزماني المكاني، ومع القياسات الماكروسكوبية التي ينقصها الدقة فإنها تبدو على خط السير الكلاسيكي، وبالتالي توصف المسارات الجسيمية في سياق نموذج الجسيم الكلاسيكي كهذا المثبت بكفاية تجريبيًّا.

إن قواعد الملاحظة لهذا النموذج الكلاسيكي الجسيمي على النحو التالي؛ حيث إن أول مشاهده للمسارات الجسيمية في الغرفة الفقاعية وحتى يومنا هذا كالكتلة والشحنة للجسيم المعبر عنه بالمسار حيث عرفت من الخصائص الزمانية المكانية للمسار وكانت أهم الملامح التجريبية للمسار هي قياس كثافة النقاط المتفردة، وانحناءاتها وطول المسار والرتبة الزمانية للقياسات الموضعية والتي تقاس بوسائل أجهزة قياس مناسبة، ويتم تحليل هذه الخصائص بوسائل الخلفية المعرفية الآمنة في الفيزياء الجسيمية.

مكتبة الفكر الجديد

لقد اعتمدت قياسات e/m لطومسون من أشعة الكاثود على نظرية القياس الكلاسيكية والتي ما زالت تعطي أرضية لتحليل نتائج المسارات الجسيمية حتى اليوم، وإنها تبنى على القوانين غير النسبوية كما في وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية النسبوية، وإن قلب هذه النظرية القياسية هو الحد الخاص بقوة لورنز. $F = (q/c)(E+v\times B)$

وهذا يتصل بالشحنة q والكتلة m للجسيم الكلاسيكي ذى كمية الحركة $p=mv$، وإنها تصف تغير كمية الحركة لكتلة الجسيم المشحون الموضوع في مجال كهربي خارجي أو مجال مغناطيسي، ويمكن تعيين كمية الحركة p من انحناء المسار الجسيمي طبقًا لقوة لورنتز وهذه العملية تعطي كمية كلاسيكية ومن وجهة نظر ميكانيكا الكم أنها شبه كلاسيكية أي أنها مشاهد غير كلاسيكية والتي لها مقابل كلاسيكي، وبحديث أكثر مباشرة فلا تسمح النظرية الكمية للقيمة المعينة لكمية الحركة للمسار الجسيمي من القياسات المكررة لمواضعها، وإنها تجريبيًا كافية لتعيين قيمة كمية الحركة شبه الكلاسيكية للمسار المتولد والذي يمكن شرحه فقط عن طريق نظرية التشتت الكمية[1].

(١) انظر الفصل الخامس (الفقرة ٥-٣).

مكتبة الفكر الجديد

شكل ٣-٢ الانحراف المغناطيسي لجسيمات ألفا الملاحظة في غرفة ويلسون

(Rutherford et al. 1930, after Grimsehl 1938, 15)

يعطى اتجاه طيران الجسيم تجريبيًّا عن طريق التتابع الزمني للقياسات الموضعية المماسية، (وفي ميكانيكا الكم، هذه تقابل تقدم مسار المستوى الكمي على عمليات التشتت فرعية التتابع وقياساتها) وإذا عرف اتجاه الطيران فيتضح فورًا أيضًا الشحنة وإشاراتها من انحناء مسار الجسيم المشحون في المجال المغناطيسي وقوة لورنتز، ويمكن تعيين كتلة الجسيم من كمية الحركة والسرعة طبقًا لنظرية القياس الكلاسيكية، وتقاس كمية الحركة بوسائل قوة لورنتز والسرعة من القياسات الفرعية المتتابعة للموضوع والزمن؛ أي أنها تقاس من المسافة وزمن الطيران، على سبيل المثال عن طريق مطياف الكتلة المخترع بواسطة آستون والذي يعمل طبقًا لهذا المبدأ في الأيام المبكرة للفيزياء الجسيمية.

مكتبة الفكر الجديد

تعتمد نظرية القياس للجسيم الكلاسيكي هذه على توصيفات قانون القوة الكلاسيكي، وإنه يتصل بالمعرفة المقارنة حول المسارات الجسيمية المعروفة أصلها، وهذه المعرفة تعتمد مباشرة على ملامح المسار المشاهد وأنها تدخل أيضًا في تحليل المسار وتعتمد على أساسيات النموذج الجسيمي الكلاسيكي ويمكن أن نستدل (على سبيل المثال)، من كثافة قياس النقاط المنفردة على المسار الجسيمي لتكرار تفاعل الجسيم مع العداد، هذا التردد هو قياس لدرجة التأين المتسبب بواسطة الجسيم الذى بدوره يشير إلى كتلة الجسيم غير المعرف بالمقارنة لكتلة الجسيمات المعروفة، بالنسبة إلى جسيمات ألفا α أو البروتونات فإن درجة التأين تكون فعليًا أكبر من درجته للإلكترونات كما هو معروف من الصور الأولى لمسارات الجسيم منذ عام ١٩١٢، وبالعودة لطول مسار الجسيم المرتبط بالطاقة التي يفقدها الجسيم خلال مساره خلال العداد قبل أن يتوقف أو يمتص.

إن نصف كل هذه المعرفة حول الكميات الدينامية للجسيمات تكون تجريبيًا والنصف الآخر ينبني على النماذج الكلاسيكية، وتم تأكيد ذلك كميًا وقد عبر عن ذلك بالقوانين الظاهراتية، إن القانون نصف التجريبي، والمسمى بعلاقة طاقة – مدى والتي تمت صياغتها على قاعدة تجارب التشتت للجسيمات من مصادر إشعاع نشاطها الإشعاعي من الأيام الأولى لفيزياء الجسيمات، وإنها تربط طاقة حركة كتلة الجسيم المشحون بالمدى الخاص به (أو طول مساره) في المواد المختلفة[1].

---

(1) Ruther ford et al. 1930, 294.

مكتبة الفكر الجديد

طبقًا للافتراضات العلية والتي تمثل دائمًا الخلفية المساعدة لتكوين النظرية في الفيزياء وشرح المسار الزماني المكاني الماكروسكوبي في الغرفة السحابية أو الغرفة الفقاعية بدلالة التفاعلات المعادة أو الموجود الميكروسكوبي نفسه مع العداد، لنستدل من المسار الجسيمي للجسيم يكون الاستدلال سببيًّا، وقد دعم تحقيق أن قوانين القياس الكلاسيكي (مثل الحد الخاص بقوة لورنتز الكلاسيكي) التي تستعمل لتحليل المسارات الجسيمية تكون ملائمة تجريبيًّا، ومع ذلك فمع المسارات الجسيمية يمكن أن ندرس كيف يمكن تطويع الملاءمة التجريبية لقوانين القياس إذا ما تعلقت بحقيقة القوانين الأساسية للطبيعة أو أن تضعها في حدود نانسي كارتريت[1]: توضح تحليل نتائج المسارات الجسيمية كيف تقع قوانين الفيزياء، كانت تفاعلات الجسيمات المشحونة مع المادة هي موضوع نظرية الكم للتشتت، وتوضح هذه النظرية بالتعارض مع دعاوى وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية بأنه لا يوجد اتصال معين على الإطلاق بين نقاط القياس المتفردة للمسار الجسيمي[2].

لقد أشار التنظير الخاص بالطريق التي تبنى مشاهداته على فيزياء الجسيمات إلى عملين مختلفين. استطاع المفهوم الجسيمي للأساس التجريبي من إحدى وجهات النظر أن يمتد بشكل هائل عن طريق وسائل قوانين القياس المألوفة، ومن وجهة النظر الأخرى فإن هذه الأنواع من الاستدلال والتي تتحدث عن وجود جسيمات ميكروسكوبية التى كانت موضع تساؤل

---

(1) Cartwright 1983.

(٢) ومع هذا انظر Mott 1929, Falkenburg 1996 and (بند 5.3)

مكتبة الفكر الجديد

بالنسبة إلى وصف نظرية الكم لإظهار طريق المسار الجسيمي. ويعتمد تنظير المشاهدات على حافتين مزدوجتين: إنها تتكون ليس فقط من امتداد للأساس التجريبي لفيزياء الجسيمات بواسطة الظواهر الطارئة والتي جاءت فقط عن طريق تحليل النتائج النظرية ولكن أيضًا على ما قبل الأوضاع النظرية الضمنية المحتوية لما قبل التحليلات النظرية للمادة الملاحظة، وأنها توضح مظهر المسارات الجسيمية التي تصبح مرئية فقط عن طريق الكمبيوتر المعاد بناؤه هذه الأيام وأنها تجهل شكل المسار المستمر الزماني المكاني الذى يصل النقاط المتقطعة ويعتبر اليوم محملاً نظريًا بشدة، ويرتبط المسار المستمر الزماني المكاني بنموذج القياس الكلاسيكي للمسار الجسيمي، طبقًا لمعايير فان فراسين للتركيب الدقيق التجريبي للنظرية المعروضة حتى إن استحب للتجريبيين أن ينظروا إليها كنموذج تجريبي للنتائج[1]، ومع هذا

---

(١) إن الأحداث الحاسمة التى أوضحت أنه فكر بوجوب صياغة النماذج التجريبية للنتائج فى الكميات الزمنية – المكانيه للميكانيكا الكلاسيكية الموجودة فى **59FF**: "من ثم دعنا نصمم مثل تلك المشاهدات الأساسية لجميع الكميات التى وظفت الزمان والمكان بمفردهما، وذلك يحتوي السرعة والعجلة (التسارع) والإزاحات النسبية وزوايا التفريق، جميع الكميات المستخدمة، على سبيل المثال، فى تقرير النتائج الفلكية الممدة للميكانيكا السماوية!! وبالنسبة إلى الجزء الخاص **64** ; "لنعرض النظرية لتصنيف تركيبها ونمذجتها وثانيًا، لتصنيف أجزاء معينة هذه النماذج (البنية الدقيقة التجريبية) مثل المرشحين للتمثيل المباشر للظواهر الملاحظة، ونستطيع أن نستدعى للظهور، البُنى التى يمكن أن توصف فى تقارير تجريبية وقياسية؛ وهى: النظرية تكون ملائمة تجريبيًا إذا كان لها نموذج ما مثل أن جميع ما ظهر يكون متوافقًا للبناء التجريبى الدقيق لهذا النموذج". وهنا كان "ظهور" ما يقابل المستدعى من **suppes** زاد أم قل لنموذج النتائج، (انظر **Suppes 1962**) .

مكتبة الفكر الجديد

فإنها فقدت براءتها نتيجة نظرية الكم، فالمسار غير كلاسيكي وأنه ظـــاهرة شبه كلاسيكية فقط، ونموذجها الكلاسيكي له صلاحية محدودة، وطبقًا لنظرية التشتت الكمي فإن المسار شبه الكلاسيكي يكون له ارتباط ضـــعيف الحـــس بالنسبة إلى المشاهدات المبنية على المفاهيم الجسيمية السارية وأنها ليـــست بسبب العلية الموضعية ولكنها نتيجة التأثير الديناميكي الثابت الخاضع لقوانين الحفظ ويعاد مشاهدتها لزمن معين عنـــد النقـــاط المجـــاورة فـــي المحـــيط الماكروسكوبي، ومع ذلك فيمكن لنا التحدث حول ملاحظات هـــذه الظـــاهرة وبالتالي أيضًا حول مشاهدات المسار الجسيمي بالطبع.

٣-٣-٣ أحداث الاستطارة (التشتت)

يمكن رصد الجسيمات المشحونة مباشرة فقط عن طريـــق مـــسارات جسيمية وظواهر ماكروسكوبية أخرى، لقد أحدثوا عمليـــات التـــأين عنـــد تفاعلاتهم مع ذرات العداد الجسيمي، وعلى الجانب المضاد فإن الجـــسيمات المتعادلة (مثل الفوتون والنيوترون والنيوترينو أو البيون المتعـــادل) فإنهـــا تلاحظ بطريقة غير مباشرة فقط، وهنا نعني "بالملاحظة غير المباشرة" بأنهم أحدثوا مسارات ملاحظة من ناتج تفاعلاتهم مع الجسيمات المشحونة فـــيمكن تعريفهم وذلك بالطرق المبنية على قـــوانين الحفـــظ، وهـــذا التمييـــز بـــين المشاهدات المباشرة وغير المباشرة يعتمد على المعايير التي يحدد بها الجسيم من المسار المتفرد للجسيم المشاهد حيثما يحدد مـــن المـــسارات المتعـــددة المجاورة التي يتم تحليلها بدلالة الأحداث التشتتية وقوانين الحفظ، ويختلـــف التمييز من تمييز شابير الذي نوقش في الفقرة ٢-٥ بالنظر إلى نوع التحليل

مكتبة الفكر الجديد

العلي المعروض وطبقًا لمفهوم شابير للملاحظة، فإن الملاحظة تكون مباشرة إذًا وفقط إذا كانت القصة العلية غير ملتبسة ويمكن أن تخبر عن الآثار التي ترجع التأثير المشاهد إلى سبب عدم الملاحظة، ففي حالتنا هذه فإن قصة السبب غير الملتبس والذي يمكن أن يخبر باستعمال قوانين الحفظ وتعمل مشاهدات آثار نمطية معقدة لمسارات جسيمية ترجع للسبب الشائع والتأثير المفقود، والسبب الشائع هو تفاعل الجسيم دون الذري الذي يحدث ما يسمى بالحدث التشتتي والتأثير المفقود هو الجسيم غير المعروف حتى الآن والذي يفترض أن يترك موضعًا مفقودًا لبعض الكم المتبقي. إن مفهوم حدث التشتت واستعمال قوانين البقاء (الحفظ) في تحليل نتائجه تم شرحه بمزيد من التفاصيل، دعنا مرة أخرى ننظر إلى تاريخ فيزياء الجسيمات! ففي التجربة التي أكدت الفوتون (وهي حفظ الطاقة – كمية الحركة لتأثير كومبتون عند المستوى المتفرد) حيث قاس كل من بوث وجيجر تطابقات الفوتونات والإلكترونات المرتدة[1]، فقد أخذا الرصد الجسيمي المرتبط بدليل التفاعلات دون الذرية التي تتفاعل فيها الجسيمات، وتسمى مثل هذه التفاعلات الجسيمية بالعمليات التشتتية، وتوصف عن طريق نظرية الكم للتشتت والذي قام بورن بإعداد أرضيتها[2]، أغلب الإشارات التجريبية المدهشة للتفاعلات دون الذرية التي تأتي في تكون المسارات الجسيمية للانحناءات والاتجاهات والأطوال المختلفة والتي تتقابل عند أحد أو نفس نقطة زمان – مكان (أو منطقة) العداد الجسيمي، في الصور التي تم الحصول عليها من الغرفة الفقاعية أو من

---

(1) Bothe and Geiger 1925.

(٢) إنه غالبًا ما ينسى أن أوراقه البحثية الرئيسة فى **Born 1926 a, 19266.** التفسير الاحتمالى لميكانيكا الكم زودت فعليًا ميكانيكا الكم بنظرية التشتت غير الكلاسيكية.

مكتبة الفكر الجديد

المستحلبات النووية فإن اتصال العديد من المسارات الجسيمية لمثل هذه الأحداث التشتتية يمكن أن تعرف في الغالب مثل المسارات الجسيمية المنفردة، ففي التحليل النظري للنتائج المسجلة بواسطة العداد الجسيمي فإن المسارات المتجاورة التي تبدأ أو تنتهي عند الوقت نفسه وفي المكان نفسه ترتبط لتكون الحدث التشتتي، وهنا "عند الوقت نفسه وفي المكان نفسه" تعني منطقة زمانية مكانية محددة والتي تعرف عن طريق التصميم الزماني والمكاني للعداد الجسيمي.

شكل ٣-٣ التشتت الفوتوني الإلكتروني

(Compton 1927, after Grimsehl 1938, 211)

يعتمد فحص التفاعلات الجسيمية على إعادة البناء الدقيق للأحداث التشتتية التي يمكن للمسارات الجسيمية فيها أن تنضم، وهذا هو العمل الرئيس لتحليل النتائج في الفيزياء التجريبية الجسيمية في الحاضر، إن انضمام المسارات الجسيمية إلى أحداث تشتتية هي بالطبع تعتمد على مقدار من الخلفية المعرفية التي تلزم في إضافتها لخط الملاحظة المحيرة للمسارات

مكتبة الفكر الجديد

الجسيمية مع الأحداث التشتتية فإننا نحتاج غالبًا إلى خلفية معرفية للكميات الديناميكية المنسوبة إلى المسارات المتفردة، على وجه الخصوص يتم الاحتياج للافتراضات التي تدور حول كتلة الجسيم، فعلى سبيل المثال، عندما يوجد التواء في مسار الجسيم فيتم شرحه بدلالة عملية التشتت التي تبين أن كتلة الجسيم تغيرت[1]، وبالتالي فإن التصنيف الملتبس للمسارات الجسيمية إلى أحداث التشتت بقواعد الملاحظة للفيزياء الجسيمية وقد خذل التجريبيون المتزمتين حالما لم يجدوا سببًا لعمل فصل تام بين المشاهدات المباشرة وغير المباشرة، وعند هذه النقطة اتضحت الصحة المطلقة للمدافعين عن الواقع العلمي من أمثال ماكسويل وشابير[2] وأصبح السؤال الحاسم الوحيد هو: كيفية الوثوق في الخلفية المعرفية حول الجسيمات دون الذرية؟ أينما تأكدت جيدًا فإن أي استدلال سببي يتأسس علمه والذي له آثار ملتبسة للمسارات الجسيمية تعود إلى تفاعلات دون ذرية متفردة قد تحسب كملاحظة بالحس الحسابي العام للملاحظة المقترحة في الفقرة ٢-٣٥.

وبمجرد تعريف المسارات الجسيمية فإن التحليل النظري لأحداث التشتت اعتمد مبدئيًا على قوانين البقاء وساعد هذا في الاستدلال عن مقادير جميع الجسيمات الموجودة في التفاعل، وقد اعتمدت قوانين البقاء للفيزياء

---

(١) تطوير نظرية القياس التى اهتمت بتحديد الجسيمات المشحونة تم شرحها فى الفقرتين (٣-٤، ٣-٥) من الفصل الثالث.

(2) **Maxwell 1962, Shapere 1982;** وانظر الفقرة (٢-٥)

(٣) انظر نهاية الفقرة (٢-٥)؛ وضع فى ذهنك أن اقتراحى يهدف للمعنى العام والدقة قدر الإمكان.

مكتبة الفكر الجديد

الجسيمية جزئيًا على الحركة النسبوية (حفظ أو بقاء الطاقة – كمية الحركة) وتعتمد جزئيًا على الديناميكا الكمية (حفظ أو بقاء اللف والندية والشحنة وهلم جرا). أولاً الجسيمات "عديمة الآثار" التى دون مسارات مثل النيوترون أو النيوترينو تفهم فقط على أساسيات قوانين الحفظ أو البقاء، ويعزا ذلك إلى فقد مقدار من الطاقة (أو لمقدار آخر) من توازنات جميع كميات الحفظ للمسارات الملاحظة في الحدث التشتتي، ويفترض فى المقدار المفقود أن يعامل كأنه جسيم غير معروف حتى الآن.

يؤدى مبدأ حفظ الطاقة – كمية الحركة دورًا خاصًا؛ حيث يؤكد مرة أخرى وأخرى بالتناقض مع قول حفظ الندية، أن التنبؤ بالنيوترينو واكتشاف النيوترون يعتمد أيضًا على هذا، كما أثبت عمليًا وجود الفوتون.

ففي عام ١٩٣٠ وحتى حفظ مبدأ بقاء الطاقة اقترح باولي بافتراض النيوترينو، الذى يدعى بأنه حليف أو مصاحب الطاقة المستمر للإلكترونات الخارجة في هيئة اضمحلال بيتا β والمتسبب عن طريق الجسيم غير المشاهد وغير المشحون[1]، وفي عام ١٩٣٢ عرف شادويك النيوترون كجسيم كتلي غير مشحون في النواة الذرية، فقد أوضح أن الإشعاع الذي نشأ من تفاعل جسيمات ألفا α مع البريليوم وأعطى هذا الارتداد الكبير لذرات الهيدروجين أو النيتروجين والتي لم تكن نتيجة الفوتونات ولكن فقط تكون نتيجة جسيم كتلي ذات كتلة في رتبة كتلة البروتون[2]، وتبقى فرضية النيوترينو افتراضًا طالما لم توجد ظاهرة أو تأثير يكون سببه نيوترينو

---

(1) Pais 1986 , 309 – 320.
(2) Shamos 1959 , 266 – 280.

مكتبة الفكر الجديد

مشاهد في وضع متفرد (ويكون انبعاث الإلكترونات مع طيف الطاقة المستمر لاضمحلال بيتا – β هو عملية احتمالية) وتم تأكيد ذلك عن طريق التجربة في عام ١٩٥٦ والتي ولدت النيوترينو المستحث باضمحلال بيتا β العكسي[١]، وعن طريق الاستدلال التجريبي فقط للتفاعل الجسيمي الذي يمكن إطلاقه فقط عن طريق الجسيم محل التساؤل يتمثل فى هذا الافتراض للجسيم المتعادل "عديم الأثر" المؤكد والذي أرسى قواعد هذه الملاحظة، لقد أوضحت حالات النيوترون والنيوترينو مرة أخرى أن الاستدلال التجريبي للجسيم يقوم على شرطين متحققين: تطبيق قانون قياس الجسيم المماثل المسمى بمبدأ حفظ الطاقة – كمية الحركة والتأثير الموضعي المصاحب للكميات المقاسة ديناميكيًا والملاحظة عند الوضع المتفرد. ففي حالة النيوترون يكون التأثير الموضعي الذرات المرتدة وفي حالة النيوترينو يكون هو النيوترينو المستحث باضمحلال بيتا – β.

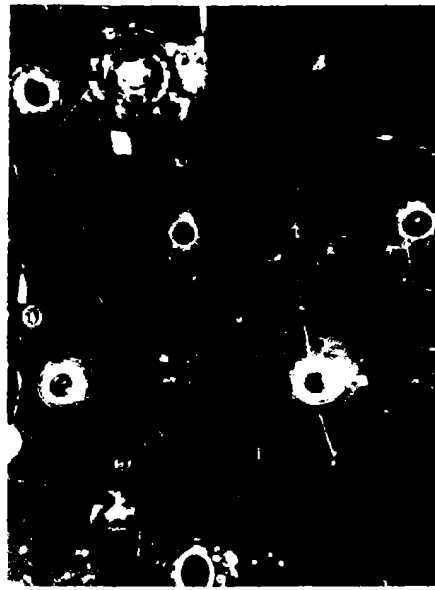
لحفظ الطاقة خاصية القانون القياسي في هذه الأمثلة، وأنها تخدم في اتجاه معيارية الظواهر الملاحظة ونستدل منهم على وجود الجسيمات غير المشحونة لنوع ديناميكي معين. بالمثل، تمد قوانين الحفظ الديناميكية الأساس التجريبي لفروض الجسيمات النوعية بدلالة المقادير الكمية (المكممة) مثل اللف والندية واللف الذاتي ودرجة الغرابة، وبمثل قانون حفظ الطاقة فقد أسهمت في البناء النظري وعن طريق ذلك نقح أساس الملاحظة للفيزياء الجسيمية وجعلتها قادرة على تصنيف مادة الملاحظة التجريبية إلى أنواع من

---

(١) باستدعاء سلطة **Eddington** حول إمكانية إنتاج النيوترينوان **570 - 569 , 1986 Pais** الذى تم التعبير عنها فى **(Eddington 1939)** ; انظر الفقرة (٢-٣).

مكتبة الفكر الجديد

المسارات الجسيمية والأحداث التشتتية وتصنيفها لجسيمات وتفاعلاتها. إن تقسيم المادة الملاحظة عن طريق قوانين الحفظ المؤكدة جيدًا تؤدي إلى مرحلة جديدة من التنظير أساس الملاحظة، وأصبحت الآن مخزنة كمسارات جسيمية وأحداث تشتتية تتميز عن طريق قيم الكميات الدينامية المحفوظة.



شكل رقم (٣-٤) حدث تشتت النيوترينو. أول ملاحظة لعملية التيار المتعادل الضعيف في غرفة الفقاعة (CERN, after Perkins 2000, 163)

٣-٣-٤ الرنينيات Resonances

منذ خمسينيات القرن العشرين ١٩٥٠؛ حيث أُنجزت تجارب تشتت الطاقة العالية في المعجلات الجسيمية، وجد نوعان من تجارب التشتت: تجارب الهدف الثابت وتجارب المصادم. أنجزت تجربة الهدف الثابت

مكتبة الفكر الجديد

كالتالي: يولد الشعاع في معجل الجسيمات (قد يكون شعاعًا إلكترونيًّا أو شعاعًا ميونيًّا أو شعاعًا من البروتونات أو شعاعَ نيوترينو أو هكذا) تولد التفاعلات الجسيمية عن طريق إرسال الشعاع إلى نوع من القوالب المادية والتي تعمل في الوقت نفسه كعداد أو كاشف جسيمي ويسمى القالب المادي بالهدف الثابت، في الخمسينيات (١٩٥٠) استخدم الهيدروجين السائل في الغرفة الفقاعية كهدف ثابت، وفي تجارب الهدف الثابت السابقة كان القالب المادى على سبيل المثال من ألواح حديد وضعت مع مكبرات فوتونية عن طريق تجهيزات الوميضيات والغرف الشرارية والغرف التدفقية أو أنواع أخرى من العدادات الجسيمية، أما في تجربة المصادم فيتقاطع نوعان من الأشعة ويتشتتان على بعضهما في منطقة تفاعل صغيرة محاطة بعدة أنواع من العدادات الجسيمية التي ترصد الجسيمات الخارجة جميعها كلما أمكن معتمدة على قواعد حركتهم وكمياتها الديناميكية، هذا وقد بدأ عصر التجارب التصادمية في بدايات الثمانينيات (١٩٨٠).

تم تحليل نتائج تجارب تشتت الطاقة العالية على النحو التالي: دائمًا ما يتم تجميع العديد من أحداث التشتت لأنواع دينامية معينة في مجموعات موحدة إحصائيًّا وبالنظر إلى ذلك فإن الأرضية المشتركة للمسارات الجسيمية المتفردة وتحليلات نتائجها بدلالة قوانين القياس الكلاسيكية كانت مُحبطة. الآن تم تفسير المسارات الجسيمية وتجارب التشتت بدلالة نظرية الكم للتشتت، ففي مثل ميكانيكا الكم تعطى نظرية الكم للتشتت احتمالية التنبؤات بدلالة القيم المتوقعة للمشاهدات الكمية وهذه المشاهدات الكمية في فيزياء الطاقة العالية تختص بنظرية المجال الكمي.

مكتبة الفكر الجديد

بالمقابل، استخدمت نتائج تحليل تجارب تشتت الطاقة العالية الطرق الإحصائية وبالمثل أجريت لعدة شهور تجارب تشتت الطاقة العالية في معجل الجسيمات وقد اعتنت بمقادير كبيرة من النتائج الإحصائية والتي تم تحليلها في حدود عديدة وقد جمعت النتائج وقسمت إلى مجموعات موحدة إحصائيًا لأحداث التشتت. نظريًا، مثل هذه المجموعات المقابلة لنتائج القياس للنوع المقاس المعطى في مستوى كمي معطي، وتجريبيًا، مجموعة الأحداث التشتتية هي مجموعة فرعية للحدث التجريبي الموجود في تحليل النتائج الإحصائية في العمليات الخاصة للتجربة، وأنها تتكون من الأحداث التي تتولد في الشروط التجريبية نفسها وتنقسم إلى عدة مجموعات موحدة – فرعية (أو فرع – لفروع مجموعات الحدث الموجود) والذي يعرف بدلالة الحركة والكميات الديناميكية للجسيمات المشتتة، وتحدد نظرية الكم للتشتت حصيلة عملية التشتت دون الذري عند مستوى احتمالى للعديد من المحصلات الممكنة تطابقًا مع الديناميكا الكمية للتفاعلات دون الذرية، فمحصلات التشتت الممكنة عبارة عن نتائج مقاسة في الحس المعتاد لقياس ميكانيكا الكم، ففي نظرية الكم للتشتت يكون احتمالياتها النسبية معطاة بدلالة المصفوفة -S للتفاعلات الجسيمية، وتعطى عناصر المصفوفة -S القيم المتوقعة النظرية كميًا للأنواع الممكنة للتفاعل الجسيمي والتي بدورها تقابل تجريبيًا بالترددات النسبية للتفاعلات الجسيمية للنوع المعين الذي تم قياسه.

لقد عين في تجربة تشتت الطاقة العالية المقطع المستعرض الفعال لتفاعل جسيمي معين من مثل هذه المجموعات لأحداث التشتت[1]. إن المقطع المستعرض الفعال المقاس هو التكرار النسبي لأحداث التشتت لنوع معين،

---

(١) انظر : الملحق (ج).

مكتبة الفكر الجديد

وأنها تعين من النسبة لعددين مقاسين يسمى ترددًا عدديًّا أو تكرار الجسيمات الخارجة لكميات معينة منسوبة إلى الجسيمات الداخلة، وتعطى الجسيمات الداخلة بدلالة فيض الجسيمات لنوع معين وبالطاقة التي تولد بواسطة المعجل الجسيمي، والفيض الجسيمي هو مقدار الجسيمات المعجلة أو بدقة أكثر هو مقدار الشعاع الجسيمي في تجربة التشتت وأنها تقاس باستقلال عن نتائج التشتت المقاسة، فالتكرار العددي للجسيمات الخارجة يتم الحصول عليه عن طريق حصر أعداد الجسيمات لنوع معين في نطاق معين لكمية الحركة أو الطاقة وزاوية التشتت للكميات الحركية، وهكذا، فإن المقطع المستعرض الفعال لنوع معين من التفاعل الجسيمي يتم الحصول عليه عن طريق حصر أو عد المسارات الجسيمية المقابلة لهذه الجسيمات.

وهكذا، فإن المقطع المستعرض الفعال هو المقدار الفيزيائي الذي يأتي من نظريات المجال الكمي السارية في عالمنا، وحسب المقطع المستعرض ككمية نظرية من المصفوفة -S للديناميكا الكمية، تعبر أيضًا عن القوة الترابطية النسبية للأنواع المختلفة للتفاعلات الفيزيائية المسماة بالثوابت الترابطية للكهربية الديناميكية والتفاعلات الضعيفة والقوية (والتي تتشابه مع ثابت الجاذبية في الميكانيكا الكلاسيكية) وككمية تجريبية فإنها عدد أحداث التشتت لنوع معين، وهنا، تعرف أحداث التشتت باستخدام الطرق الموصوفة في الفقرة (٣-٣) والمحسوبة بدلالة الحركة والكميات الديناميكية التي تعزى إلى الجسيمات دون الذرية.

الرنين هو الظاهرة التالية التي تظهر خاضعة للشروط التجريبية التالية، إنجاز تجربة تشتت عند الطاقة العالية وقياس التفاعلات كدالة في

مكتبة الفكر الجديد

طاقة الجسيم المتشتت وطاقة التشتت، وفي النموذج النظري المقابل فإن طاقة التشتت هي كمية حركية نسبوية وتعطى في إطار مركز الكتلة للجسيمات المتشتتة، ويمكن تغيير طاقة التشتت عن طريق طاقة الشعاع في تجربة الهدف الثابت (أو شعاع تجربة المصادم) ويتم تعيين المقطع المستعرض الكلي لجميع التفاعلات أو أحداث التشتت والمجمعة على جميع المستويات النهائية المقاسة كدالة في طاقة التشتت (وهذا يعني ببساطة حصر أعداد الأحداث المتشتتة عند طاقة التشتت المعطاة) ويقاس الرنين إذا ظهر لقيمة المقطع المستعرض الفعال قمة عند قيمة معينة للطاقة؛ أي أنه إذا زادت القيمة فجائيًا بعدة رتب تقديرية في العلاقة المرتبطة بالمقطع المستعرض التأثيري عند الطاقات المنخفضة والمرتفعة، مثل هذه الزيادة المرتفعة أو المنخفضة في قياسات المقطع المستعرض تشير إلى زيادة واضحة في عدد التفاعلات الجسيمية عند طاقة تشتتية معينة، وأنها تساوي السلوك الرنيني المماثل لذبذبات القوى في الميكانيكا الكلاسيكية أو الديناميكا الكهربية، ومن ثم سميت "الرنين".

على سبيل التشابه فإن الرنينيات في تجارب تشتت الطاقة العالية تم شرحها كنتيجة لتوليف القوة الخارجة تمامًا مع طاقة المستوى الداخلي للنظام الفيزيائي وأنها سبب إثارة إلكترونات المدارات الذرية ولحث انبعاث الضوء وأن المستوى الكمي غير المستقر يتولد ثم يضمحل تتابعيًا، وشرح الرنين واضح في الفيزياء الجسيمية ويتولد المستوى الكمي غير المستقر أو الجسيم دون الذري قصير فترة الحياة عند طاقة تشتت معينة، وتحدث اضمحلالاتها عند القمة في علاقة الطاقة مع المقطع المستعرض الفعال الذى يعتمد عليها.

مكتبة الفكر الجديد

تحققت في عصر المعجلات الجسيمية الاختبارات التجريبية للرنينيات ونظرية القياس المنبنية عليها أهمية عظمى تشبه أهمية تحليل المسارات الجسيمية من الإشعاع الكوني ونظرية القياس المقابلة لها في ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين (١٩٤٠ و ١٩٣٠).

وقد اكتشف أول جسيم رنيني في عام ١٩٥٢ عندما بدأ أول معمل كبير في العمل، فحدد للجسيم قصير فترة الحياة وله لف وندية للنيوكليونات ولكن تكون بكتلة أكبر كثيرًا من البروتون؛ حيث ينمو حينئذ جسيم "متضخم" بشكل هائل وينبني عليه المزيد من التنوع للرنينيات التي تحددت بالجسيمات الثقيلة غير المستقرة (الهادرونات)، ولا يمكن للجسيمات غير المستقرة أن تعرف بجسيم تلو الآخر من المسارات الجسيمية وأحداث التشتت؛ حيث لا مسار لها مثل النيوترونات أو النيوترينوات ولكن لسبب ديناميكي آخر يعرف بفترة حياتهم القصيرة، وتقسم هذه الرنينيات طبقًا لقوانين الحفظ للف الذاتي ودرجة الغرابة وغيرها من المقادير الكمية (المكممة) والتي افترضت أولاً بشكل ذي صلة واقترب التقسيم متصلاً بالمحاولات المبكرة لبناء نظرية المجال الكمي للتفاعلات القوية، وقد أدى ذلك في النهاية إلى نموذج الكوارك في عام ١٩٦٤[1].

تم فحص اضمحلال هذه الرنينيات الهادرونية في المطياف الهادروني باستخدام الطرق التجريبية الواضحة لهذه الاضمحلالات التي استخدمت في فحص المستويات المثارة للإلكترونات الذرية المدارية في المطياف الذري، وقد أمدنا المطياف الهادروني بجزء مهم في القاعدة التجريبية للفيزياء

---

(1) Pickering 1984,46-108.

مكتبة الفكر الجديد

الجسيمية مغطيًا العقود القليلة السابقة، وقد ساعد في النهاية النموذج الكواركي في أن يحقق ظهور تقدم مفاجئ في عام ١٩٧٤ عندما اكتشف الجسيم الرنيني J/Ψ وفي نطاق قيمة ضيقة تم تحديد فترة حياة طويلة له[١].

أولاً: حددت الرنينيات بالمقارنة من شكل دالة المقطع المستعرض المقاس فحسب إذا اعتمدت الشواهد على الظواهر المقارنة (في حس التدقيق الكارنابي لشواهد الكميات المقارنة والكميات المكممة المقاسة)[٢] تجعلنا نتحدث عن ملاحظة الرنين ولكن هل هي أيضًا تجعلنا نتحدث حول الملاحظة المقابلة للمستوى الكمي غير المستقر أو الجسيم؟

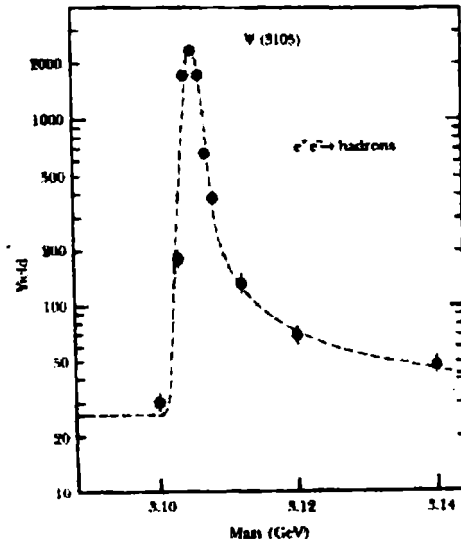
الرنينيات تحدث في المادة الملاحظة للفيزياء الجسيمية والمصنفة طبقًا لأحداث التشتت ولتفاعلات الجسيم المقابل لذلك، وأنها تشاهد كظواهر مصادفة أو طارئة، ومع هذا فإن تفسيرها النظري يكون محملاً على النظرية أكثر من الدليل التجريبي على وجود الجسيمات دون الذرية التي نوقشت من قبل، إن نظرية قياس التحليل الكمي للرنينيات تتأسس على نظرية الكم، يحتوى النموذج النظري الكمي للرنين على افتراضات من نظرية الكم للتشتت والحركية النسبوية ونظرية الإثارة واضمحلال الأنظمة الميكانيكية الكمية المركبة إلى مستويات طاقة عالية ومنخفضة والتي تنتج من نظرية المجال الكمي.

---

(١) المرجع السابق نفسه، ص٢٥٣-٢٦٠. ومع ذلك انظر نقدي لرؤية بيكرينج البنائية لصياغة النظرية في فيزياء الجُسيمات. انظر الفقرة ٢-٣، وأيضًا رؤية القائم بالتجريب، المرجع: **Riordan 1987**.

(٢) انظر **Carnap 1966, part II. 1966**

مكتبة الفكر الجديد



شكل رقم (٣-٥) الرنينة J/Ψ (Michael Riordan 1987, 284)

يتميز الرنين عن طريق كميتين فيزيائيتين: طاقة قمتها E0 واتساعها ΔE الذي يقابل مدى الطاقة التي تغطيها عند منتصف قمة ارتفاع هذا الرنين، ويمكن قراءة كلا الكميتين أن تقريبيًا من شكل المقطع المستعرض الفعال، كدالة في طاقة مركز الكتلة للجسيمات المشتتة، ومع هذا، يعتمد مدى دقة تعيينها على منحنى رنين بريت فيجنر والذي يستنتج من نظرية المجال الكمي[١].

---

(١) انظر Perkins 1987, 128، وانظر الفصل الثامن من Goldberger and Watson للجهاز الهائل الكمى النظرى بأن أهتم بنظرية الرنينيات الذى لخص ما احتاجه الفيزيائيون التجريبيون.

مكتبة الفكر الجديد

الرنين يكون أكثر تميزًا كلما صغر اتساعه ΔE وكبر التردد النسبي للتفاعلات عندما تكون الطاقة E0 التي تكون متناسبة مع عدد التفاعلات عندما تصغر جدًا أو تكبر الطاقات، وتكون أكثر تميزًا كلما زادت حدة قمتها (مقابل خلفية أحداث التشتت التي لا تختص بها) وكلما زاد تحديد دقة أقصى طاقتها E0 واتساعها ΔE يمكن تعيينه وطبقًا لنموذج النظرية الكمية المذكورة سابقًا فإن الرنين يفسر كدليل تجريبي لاضمحلال المستوى المثار للجسيم ذي الكتلة m=E0/c2 وفترة حياة τ = h/ΔE .

وطبقًا لهذا النموذج النظري الكمي فإن الرنين يكون غير مؤهل بالدليل التجريبي للجسيم المفرد الذي يكون له زمان ومكان متفرد، ويشير الرنين لترابط الزمان والمكان للعمليات الكمية المفردة التي تسمى اضمحلال المستويات المثارة للنظم الكمية لنوع معين، ولا يمكن شرح هذه العلاقة الترابطية في إطار النموذج الجسيمي الكلاسيكي، وإذا فسر ظهور الرنين كمؤشر تجريبي لوجود نوع معين من الجسيمات وحينئذ يظهر مفهوم جسيمي يعطي معنى جديدًا قد أعطاه طومسون بالنسبة إلى الحد "جسيم" وهو شيء مختلف المعنى تمامًا في التفسير النظري لقياس المقدار e/m إن التغير في المفهوم الجسيمي المنجز هنا سيتم فحصه واختباره بالتفصيل في الفصل السادس، وأنه يشير إلى أن ملاحظة الرنينية لا تشبه ملاحظة التأثير الموضعي للجسيم.

لتفسير الرنينيات كدليل تجريبي للجسيمات السابق افتراض أوضاع نظريات القياس للمسارات الجسيمية وأحداث التشتت التي نوقشت سابقًا والمتشابكة مع نظرية الكم وقف هذا التشابك فقط عند نهاية تكوين النظرية

مكتبة الفكر الجديد

التي أدت إلى الديناميكا الكهربية الكمية، ومع الديناميكا الكهربية الكمية وصل تنظير أساس الملاحظة لمرحلة جديدة في فيزياء الجسيمات، لم يطل ما قبل النظرية من مفهوم ميتافيزيقا الجسيم ولكن أعطت نظرية الكم معايير الحكم عن ماذا يخص أساس الملاحظة للفيزياء الجسيمية.

٣-٤ مسار البوزيترون

لفترة طويلة ظلت نظرية القياس الكلاسيكية لتحليل المسارات الجسيمية غير متصلة بالمعرفة اللاحقة بأن المسارات الجسيمية ناتجة من عمليات التأين دون الذري الذي هو موضوع قوانين النظرية الكمية، وحتى بدايات الثلاثينيات من القرن العشرين (١٩٣٠) لم يستوف الوصف النظري الكمي لعمليات التأين المتاحة على الإطلاق، وقد بدأ في الثلاثينيات استكشاف الأشعة الكونية مع الغرفة السحابية (١٩٣٠) وفي ذلك الوقت كانت نظرية التأمين الكلاسيكي لبور فقط منذ عام ١٩١٣ وبعض التعديلات النظرية الكمية لها كانت متاحة وكان وضع نظرية القياس للجسيمات المشحونة يتأسس على خليط من المعرفة التجريبية الكمية غير الافتراضات النظرية الكمية على التأين[١]، ومع هذا فإن حدود نظرية القياس الكلاسيكية أصبح مرئيًّا تدريجيًّا خلال تتابع السنوات في وجود ميكانيكا الكم. لم تتوافق نظرية بور للتأين منذ ١٩١٣ كميًّا مع المعرفة نصف التجريبية والظاهراتية حول المسارات الجسيمية المتراكمة خلال استخدام نظرية القياس الكلاسيكية، إنها

---

(١) وانظر أيضا ; Bohr 1913a , 1915; Ruther ford et al. 1930,434-439 Galison 1987 , 97 – 100.

مكتبة الفكر الجديد

لم تتفق خاصة مع علاقة مدى الطاقة شبه التجريبية، وحول عام ١٩٣٠ عرف أن النظرية الكلاسيكية للطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة في المادة تعطي في الإجمال نتائج صحيحة، ولكنها تحتاج تصحيحات نظرية كميًّا ولكي لا تتحقق المسارات الجسيمية المنفردة[١]، ومع ذلك فإن الطرق التجريبية لتحديد الجسيمات الكتلية المشحونة ظلت غير ملموسة للثورة النظرية للفيزياء التي أوجدت فروض أينشتين الكمية للضوء والنموذج الذري لبور وتطور ميكانيكا الكم وفي النهاية الديناميكا الكهربية الكمية، ولكن وقبل أن تستطيع الديناميكا الكهربية الكمية في الدخول في تحليل المسارات الجسيمية وفي ظهور البوزيترون والميونات وتحديد البيونات. فالطريق كان طويلاً وصعبًا.

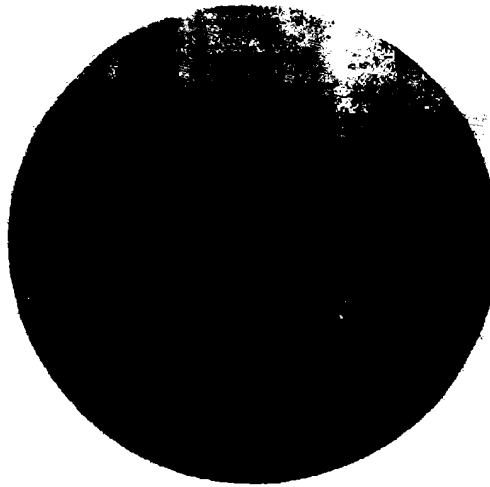
إن التكوين النظري الكمي لوصف تفاعلات الجسيمات المشحونة مع المادة وجد منذ نشر أوراق بحث بورن في التفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم التي مهدت الأرضية لميكانيكا كم التشتت، وباستخدام ذلك طور بيث في عام ١٩٣٠ نظريته عن مرور الشعاع الجسيمي خلال المادة وفيها وصف تفاعلات الجسيمات المشحونة الكتلية مع المادة في تقريب بورن[٢]، ومع هذا، بمثل نظرية بورن كانت ميكانيكا الكم غير النسبوية للتشتت، وبالتالي فإنها لا تطبق على المسارات السريعة لجسيمات الطاقة العالية من المادة في سياق ميكانيكا الكم النسبوي والديناميكا الكهربية الكمية (نظرية المجال الكمي النسبوي للتفاعلات الكهرومغناطيسية). لقد وضعت المعادلات الأساسية لكلا النظريتين عن طريق ديراك عام ١٩٢٧. حدث الاكتمال التقريبي لحسابات

---

(1) Ruther ford et al. 1930 , 439.
(2) Born 1926b; Bethe 1930.

مكتبة الفكر الجديد

عمليات التأيين لتفاعلات الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية مع المادة وأصبحت ممكنة بعد عام ١٩٣٣ وكانت تعتمد على صيغة بيث – بلوك التي تم استنتاجها من معادلة ديراك النسبوية ومن نظرية بيث الكمية لتفاعلات الجسيمات المشحونة مع المادة[1]، وتتوقف أو تسقط الثقة في مثل هذه الحسابات مع الثقة في معادلة ديراك، وقد أمدتنا هذه المعادلة عام ١٩٣٠ بالمحاولة الأولى فقط عند النظرية النسبوية لتفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة.



شكل رقم (٣–٦) مسار البوزيترون (Anderson 1933, 492)

ومع هذا فلم تعتمد كثيرًا معادلة ديراك عند الفيزيائيين قبل اكتشاف البوزيترون؛ حيث إن حلولها التي تقابل قيمًا سالبة للطاقة لم يكن لها تفسير تجريبي، وفي مثل هذا الوضع تم استمرار الانفصال التام بين عمل التجريبيين والنظريين بعضهما عن الآخر.

---

(1) Bethe 1932; Bloch 1933.

مكتبة الفكر الجديد

ابتداء من معادلة ديراك والمجال الكمي والديناميكا الكهربية الكمية حيث تطورت باستقلال لجميع النتائج التجريبية كأول فكر مرشح لنظرية الكم النسبوية، وفي الوقت نفسه كان التجريبيون يعملون دون التحليل الكمي لمسارات الأشعة الكونية التي اكتشفت عن طريق نظرية الكم وقد استخدم الفيزيائيون التجريبيون الجيدون الخلفية المعرفية المأمونة في تجاربهم وكانت هذه الخلفية المعرفية الآمنة مناسبة نظريًّا ومتحققة جيدًا وكافية تجريبيًّا ولكن الوصف الديناميكي الكهربي الكمي لتفاعلات الجسيمات المشحونة مع المادة لم يستكمل هذه المتطلبات في أعوام الثلاثينيات (١٩٣٠)، ومع طول هذا الوضع المماثل لذلك فإن المسارات الجسيمية للأشعة الكونية تم تحليلها فقط كيفيًّا وبالمقارنة على أرضية نظرية القياس الكلاسيكية للجسيم المشحون مستخدمة القليل من الافتراضات النظرية كلما أمكن ذلك. إن اكتشاف البوزيترون خلال هذا الطريق الحذر لتحليل المسارات حينئذ أحدث بقوة الأساس التجريبي للديناميكا الكهربية الكمية.

وقد كان البوزيترون أول جسيم جديد يكتشف في الإشعاع الكوني، وتم تحديده بالنظر للشحنة والكتلة باستعمال الملامح التجريبية للمسارات الجسيمية وقد عمل ج. د. أندرسون بالغرفة السحابية منذ عام ١٩٣١ وحتى فحص الأشعة الكونية في كالتك (معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا)[1]. ولكي تحدد إشارة شحنة جسيمات المسارات المتولدة وضع مجال مغناطيسي قوى مطبقًا على الغرفة الفقاعية – فوجد أندرسون على هذه الصور الفوتوغرافية عددًا قليلاً من المسارات التي أشارت إلى الجسيمات الموجبة، وقد أرجعهم في أول

---

(1) Pais 1986, 351-352.

مكتبة الفكر الجديد

الأمر إلى مسارات للبروتون، التى كانت فقط هي الجسيمات الموجبة الشحنة المعروفة في ذلك الوقت ومع هذا فقد وجد شيء من الدليل الذي يقف قولاً ضد كونها بروتونات: فقد أشارت درجة التأين المنخفضة للمسارات الجسيمية هذه لكتلة برتبة الإلكترون ناهيك عن عدم كونها كتلة بروتون (بما يساوى ألفي مرة ويزيد)، ومع هذا وتحت افتراضات أنها كانت إلكترونات من الأشعة الكونية فإن اتجاه الطيران لم يكن مقارناً مع انحناء المسار في المجال المغناطيسي، لتحديد اتجاه الطيران للجسيمات الموضحة فقد وضع أندرسون في النهاية لوح رصاص بعرض ٦ ملم في مركز غرفة السحابة، فتفقد الجسيمات المارة في اللوح الرصاصي طاقة وكمية حركة وتظهر هذه الطاقة المفقودة عن طريق الزيادة في انحناء المسار، اكتشف أندرسون أن المسار الخاص مناسب لتحديد الجسيم وكان ذلك في أغسطس عام ١٩٣٢، وقد أوضحت صورة المسار الملامح الظاهراتية التالية[١]:

١- يتقابل المسار بين المكملين في منتصف نصفي الغرفة الفقاعية عند لوح الرصاص.

٢- يعتبران مختلفين في إشارة انحناء المسار وليس في القيمة أو مقدارهما.

٣- كلا المساران المكملان يكونان أطول من ٥ سم.

٤- عندما يعزى كلا المسارين إلى جسيم مفرد وشحنة سالبة أي أنه بالنسبة إلى الإلكترون، يعرف الانحناء المساري في المجال المغناطيسي اتجاه الطيران تمامًا يعاكس اتجاه فقد الطاقة نتيجة لوح الرصاص.

---

(١) انظر : Anderson 1932 ,1933

مكتبة الفكر الجديد

لقد ناقش أندرسون في تحليله للمسار كل درجات الحرية للتفسير النظري للمسار[1]:

الكتلة ومقدار الشحنة وإشارتها وعدد الجسيمات وإشارتها وعدد الجسيمات التي قد ينسب إليها المسار، كما استنتج من درجة تأيين المسار فإن قيمة شحنة المسار لا يمكن أن تختلف في المقدار بما يتراوح حول قيمة الضعف وشحنة الإلكترون، وقد حسبت الكتلة بطريقة غير مباشرة باستعمال طول المسار وانحنائه وقيم الكتل المعروفة للإلكترون والبروتون، وقد استعمل فرضين نظريين (١) قوة لورنتز الكلاسيكية طبقًا للانحناء المعطى للمسار المشار إليه لشحنة وكتلة جسيم البروتون ذي طاقة ٣٠٠ م أ ف و(٢) امتداد علاقة مدى الطاقة شبه المعملية للبروتون في اتجاه قيم الطاقات المنخفضة طبقًا لقيمة الطاقة للبروتون التي تساوي ٣٠٠ م أ ف وتستطيع أن تعمل مدى في حدود ٥ ميليمترات[2]، ونتيجة للخاصية السابقة (٣) للمسار فإن الكتلة بالتعويض يكون مقدارها في حدود أكبر من كتلة البروتون ومع هذا فبسبب (٤) فرض أنه إلكترون يحقق قانون حفظ الطاقة بشكل قاطع: ونتيجة الانحناءات الفرعية أو المكملة للمسارات فإن الإلكترون المسبب في إكمال المسار (نهايته) لا يفقد طاقة في لوح الرصاص ذي السمك ٦

---

(١) المناقشة التفصيلية لظواهر نظرية المعرفة لاكتشاف البوزيترون موجودة أيضًا في (Brown 1987, 186 - 189)، وقد فسر فيها براون **Brown** تحديدات أندرسون **Anderson** لمسار البوزيترون طبقًا لنظرية المعرفة الطبيعية، شبيهة لمفهوم شابير **Shapere** للمُلاحظة المباشرة منذ عام ١٩٨٢ والتى نوقشت فى الفقرة (٢-٥) من الفصل الثانى، إنها تسمح بتأثير للخلفية المعرفية النظرية على المُلاحظات.

(2) Ruther ford et al. 1930 , 294.

مكتبة الفكر الجديد

ملليمترات، بالأحرى فإنه يتعجل بطاقة ٤٠ م أ ف كما أكد أندرسون، ومع هذا، فإنه لا يمكن تكون مسارين للإلكترون غير معتمدين على بعضهما ويتقابلان بالصدفة عند قرص الرصاص وذلك لأن مثل هذا التطابق يكون احتماله ضعيفًا جدًّا، ومن ثم يتبقى احتمالان، إما أن يكون المسار نتيجة شحنة موجبة لجسيم مفرد فقد طاقته عند لوح الرصاص وتتراوح كتلته وشحنته مع كتلة الإلكترون أو أنه كان نتيجة زوج من جسيمات متضادة الشحنة والمتساوية الكتلة والذي نتج من شيء واحد وبالتفاعل نفسه في لوح الرصاص والذي يكون أحد الخارج منه إلكترونًا، وفي كلتا الحالتين فإن وجود الإلكترون الموجب، البوزيترون هو الناتج من هذا.

إن تحديد أندرسون للمسار المماثل لجسيم موجب الشحنة ذي الكتلة الأقل يوضح تاريخيًّا أن الفيزيائيين التجريبيين قد تناولوا بحذر شديد جميع الافتراضات النظرية التي لم تزل تخص الخلفية المعرفية الآمنة، وقد استحسن القياس التجريبي الكلاسيكي والنصوص الظاهراتية وقد استخدمهم فقط لمقارنة مسار البوزيترون والإلكترون المعروفة جيدًا، ومع هذا فقد فعل ذلك لكتلة البوزيترون؛ لأن ذلك يتطلب نظرية ملائمة للطاقة المشحونة في داخل المادة والتي لم تكن متاحة في ذاك الوقت. إن تحليل أندرسون لمسار البوزيترون علم التجريبيين أن يفضلوا العمل دون الدقة الكمية إذا لم تبدُ نظرية القياس المطلوبة مسموعة بصيت كاف.

يمكن تعلم حقيقة أخرى من خطوات طريق أندرسون بمجرد ظهور الاكتشافات التجريبية الحاسمة وأن تحليل الظواهر غالبًا ما تقود إلى تكون نظريات مستقلة تمامًا، إن تحقيق التجارب وتقييمها يتمتع بحكم ذاتي بالنظر

مكتبة الفكر الجديد

للتطور المتزامن للتصورات النظرية كما طبقت أيضًا دراسات حالة جاليسون في تاريخ الفيزياء الجسيمية[١].

لقد عرف أندرسون معادلة ديراك الموضوعة في عام ١٩٢٧ مثل العديد من فيزيائي الجسيمية الآخرين، إذا فسر أحد الحلول الحرفية لمجموعاتها الكاملة فهذا أدى إلى وجود مستويات جسيمية ذات طاقة سالبة، ومع هذا، هذه المعرفة لم تأخذ طريقًا تدفع به تحليل مسارات البوزيترون التي كانت متاحة في المادة الملاحظة منذ عام ١٩٣١، ولم يجد التجريبيون في فترة ١٩٣٠ طريقًا يركزون فيه البحث عن وجود جسيمات لها كتلة الإلكترون وشحنة موجبة ليمدوا حلول معادلة ديراك بالأساس التجريبي، وتمامًا على النقيض فقد حاول أندرسون قدر ما أمكن ليفسر المسارات المثيلة بدلالة شحنة وكتلة البروتون، كما فعل ميليكان في مجموعته التي عمل معها، وقد حاول ديراك بنفسه أيضًا ليعطي تفسير الحفظ أو البقاء لحلول معادلته المسماة بخصوص حلول معادلة ديراك ذات الطاقة السالبة للبروتون[٢].

٣-٥ تحديد الجسيم والديناميكا الكهربية الكمية

إن الفيزيائيين محافظون. وهم يسعون قدر الإمكان إلى الاعتماد على الخلفية المعرفية المتفق عليها فقط دون وضعها موضع التساؤل. وبالنسبة إلى الخلفية المعرفية الموثوق بها في عام ١٩٣٠، كان ثمة افتراض لم يتم تفنيده

---

(١) انظر **Galison1987**، وخاصة حالته فى دراسة اكتشاف التيار المتعادل المحقق للرؤية البنائية لفيزياء الجسيمات الحديثة، والمذكورة فى **Pickering 1984**.

(٢) انظر: **Pais 1986, 346-348**.

مكتبة الفكر الجديد

بشأن وجود اثنين فقط من الجُسيمات الأولية الكُبرى المشحونة؛ أعني الإلكترون والبروتون، ولكن لم تنتم إلى هذه الخلفية المعرفية الآمنة إلى ذلك الوقت المقاربات والمناهج النظرية الكمية والتي كانت قد تطورت في عشرينيات القرن العشرين وقامت بهز دعائم صرح الفيزياء كما عُرفت سابقًا. وقد استحضر الفيزيائيون في الثلاثينيات جسيمات جديدة لتؤدى دورًا في شرح الظواهر التجريبية ما لم يكن بالإمكان تجنب مثل هذه الافتراضات دون تعريض المزيد من المبادئ الأساسية مثل حفظ الطاقة إلى الخطر. فيتم استخدام قانون حفظ الطاقة عن طريق النظرية النسبية بتلك الخاصة بكمية الحركة فأبقت الثورة الكمية في محل غير نقدي، وقبل اكتشاف الإلكترون الموجب عن طريق أندرسون لم يأخذ أي شخص مجمل مجموعة حلول معادلة ديراك بجدية (بما فيهم ديراك نفسه)[١]، وقد تم تحديد البوزيترون بعد ذلك بمستويات جسيمية ذات طاقة سالبة خاصة بحلول معادلة ديراك، ولم يكن هذا التفسير يخص أندرسون ولا ديراك ولكن يخص بلاكيت وأوشياليني فقد أكدا اكتشاف أندرسون للبوزيترون في عام ١٩٣٣ عن طريق الفحص التجريبي لما عندهم وأعطوه تفسيرًا نظريًّا بدلالة حلول معادلة ديراك[٢] وقد حددت هذه التفسيرات حلول معادلة ديراك لقيم الطاقة السالبة مع وصف الجسيمات الحرة بشحنة موجبة وكتلة إلكترون أي بوصف مثالي للبوزيترون يترك مسارًا مؤينًا في الغرفة السحابية عند عمليات التشتت المتعددة مع الهيدروجين السائل.

---

(١) للتفصيل التاريخي للتفسير الفيزيائي لمعادلة ديراك انظر: **stockler 1984,94,106**.

(٢) انظر: **Pais 1986, 362-363**.

مكتبة الفكر الجديد

من ثم فقد تحقق اكتشاف البوزيترون باستقلالية غير معتمد على معادلة ديراك وقد أمد ذلك الحلول غير التبريرية (أو غير الفيزيائية) للطاقة السالبة بالأساس التجريبي غير المتوقع، وقد استطاع أندرسون في نفس عام ١٩٣٣ أن يوضح توليد بوزيترونات الأشعة الكونية عن طريق عمليات الخلق الزوجي التي ينبث فيها الإلكترون والبوزيترون معًا، وعلى قاعدة معادلة ديراك فقد وجد تفسيرًا طبيعيًّا كهذه العملية أيضًا[١]. هذا ومن أحد الوجوه شجع النظريين تطوير الديناميكا الكهربية الكمية المبنية على معادلة ديراك ومعادلات ماكسويل والمجال الكمي، وتطبيق ذلك على تفاعلات الجسيمات ذات الطاقة العالية مع المادة. ومن وجهة النظر الأخرى، بطريقة الخطوة تلو الخطوة التى شجعت التجريبيين ليستعملوا نتائج النظريين لتحليل الأشياء الملاحظة من الأشعة الكونية، وكان تطوير المجال الكمي في أول الأمر على يد النظريين غير معتمد تمامًا على فيزياء الجسيمات التجريبية وبالحوار فإن تحليل المادة أو الأشياء الملاحظة عن الأشعة الكونية عن طريق التجريبيين لم تكن لتدفع من البداية (في ميكانيكا الكم) لعمل حسابات الديناميكا الكهربية الكمية، ومع هذا وبمجرد أن تأكدت معادلة ديراك بواسطة اكتشاف البوزيترون بدأ كلاهما في التشابك. لقد طالت الخطوات الرئيسة تجاه الوصف النظري لتفاعلات الجسيمات النسبوية المشحونة مع المادة وذلك قبل التعزيز النظري والتجريبي للديناميكا الكهربية الكمية، ففي عام ١٩٣١ رتب مولر ليستنتج تشتت إلكترونين من معادلة ديراك في تقريب بورن لميكانيكا الكم في الوصف النسبوي غير المتغير[٢]، وفي عام ١٩٣٢ استعمل بيث معادلة مولر للتشتت ليستنتج المعادلة النسبوية لفقد طاقة

---

(١) انظر: Anderson and Anderson 1983.

(2) Moller 1931.

مكتبة الفكر الجديد

الإلكترونات نتيجة عمليات التأين في مادة العداد الجسيمي، ومع هذا، فقد حسبت هذه المعادلة بدقة لذرة الهيدروجين فقط، أي تم حساب طاقة الإلكترونات المفقودة في الغرفة السحابية[1] وفي عام ١٩٣٣ أكمل بلوك معادلة بيث لأكثر الذرات تعقيدًا في سياق النموذج النظري الذي يصف إلكترونات الذرة التي في مثل غاز فيرمي[2]، وبهذا السبيل تم استنتاج معادلة بيث – بلوك (المذكورة سابقًا) لجسيمات الطاقة العالية المشحونة كقانون يصف قدرة توقف الذرات. وفي عام ١٩٣٤ تم تقديم معادلة الفرملة والإنتاج الزوجي ويكون الشكل هو العملية العكسية لتشتت كومبتون والأخير هو إنتاج زوج الإلكترون – بوزيترون من الفوتون. هذا وقد اكتشف الإنتاج الزوجي في عام ١٩٣٣ بواسطة بلاكت وأوشياليني عن طريق تحليل مسارات الأشعة الكونية[3]، وعن طريق صيغة بيث – بلوك والصيغ الخاصة بالفرملة والإنتاج الزوجي أمكن حساب الطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة نتيجة مرورها خلال المادة، وبهذه الطريقة زادت للغاية في منتصف الثلاثينيات (١٩٣٠) المعرفة النظرية الكمية التي أمكن استعمالها في تحليل مسارات الجسيمات.

لكن في ذلك الوقت كانت لا تزال الديناميكا الكهربية الكمية بعيدة عن الأخذ في الحسبان وعندما تطورت نظرية المجال الكمي وتم تنقيحها على التوازي مع الميكانيكا الكمية النسبوية ظلت مشاكل نظرية داخلية شديدة باقية (والتي تم حلها فقط في الخمسينيات ١٩٥٠ عن طريق التقريب المعياري)

---

(1) Bethe 1932.
(2) Bloch 1933.
(3) Bethe and Heitler 1934, Pais 1986 , 376-375;
انظر أيضًا ما وجد في (Rossi 1952 , 151) والعرض التاريخي في (Galison 1987,103 , 110)

مكتبة الفكر الجديد

إضافة إلي وجود تضارب تجريبي حول تحليل المسارات الناتجة من الأشعة الكونية، وتوجد مسارات نتيجة جسيمات ذات كتل متوسطة (سميت وقتها "ميزوترونات" والتي تسمي الآن "ميزونات"، لكن تم تحديدها فقط عام ١٩٣٦ وسبق ذلك الدخول في دائرة قاسية في تحليل المسارات الجسيمية، ولكي يتم تعيين كتلة الجسيم الذي يمثله المسار بدقة فلا بد من الاستعانة بالديناميكا الكهربية الكمية، فحساب الطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة في المادة يصمد أو يخفق جنبًا إلى جنب مع الديناميكا الكهربية الكمية. على طرف النقيض، وحتى نصير متأكدين من الديناميكا الكهربية الكمية، فلا بد من قياس الطاقة المفقودة للجسيمات المعروفة جيدًا في المادة، ومع هذا، فإن تنبؤات الديناميكا الكهربية الكمية للجسيمات المعروفة يتعارض مع مسارات الميزون غير المعرفة، ومن ثم حتى بعد تأكيد معادلة ديراك بواسطة البوزيترون فإن صلاحية الديناميكا الكهربية الكمية ما زالت في حالة تشكك، وعلى وجه الخصوص قبل تحديد الميزونات فقد افترض فشل الديناميكا الكهربية الكمية عند الطاقات العالية عندما حكمت الطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة في المادة بواسطة عمليات الفرملة والإنتاج الزوجي(١).

استنتجت القوانين التي تصف الطاقة المفقودة عن طريق التأيين والفرملة والإنتاج الزوجي كثرت أو قلت في الطريق نفسه من معادلة ديراك في تقريب بورن، ومع هذا ونتيجة الدائرة القاسية المرسومة سابقًا فإنهم لم يدخلوا النظريات المقاسة وقد تم التوافق عليها كخلفية معرفية آمنة فقط بعد نهاية الثلاثينيات من القرن العشرين إلى الامتداد بأنه وجد حينئذ تأكيدات تجريبية إضافية للديناميكا الكهربية الكمية.

---

(١) لقد سبب تحديد الأصل والمحتوى الجسيمي للجسيمات الرذاذية من الأشعة الكونية مشاكل كبيرة، انظر: (Ibid.,110-124) ، وأيضا Cassidy 1981.

مكتبة الفكر الجديد

التأكيد التالي كان من حقيقة التحديد التجريبي "للميزوترونات" أو الميزونات، فقد أثبت أندرسون في عام ١٩٣٦ بالنسبة إلى المسارات الجسيمية للأشعة الكونية أنه يوجد جسيمات مشحونة ذات كتلة تتراوح بين كتلتي الإلكترون والبروتون، ويسمى الآن الجسيم الذي عرفه بالميون وهو أثقل نسبة إلى الإلكترون، إن التأخر في الوثوق في الديناميكا الكهربية الكمية وفي حسابات الطاقة المفقودة عن طريق عمليات التشتت عند الطاقات العالية للجسيمات نتيجة تأخر تحديدهم لها مدة عامين وكان هذا التأخير نتيجة الدائرة القاسية التي وصفت سابقًا، ونتيجة عدم كفاية الطرق التجريبية التى انتقاها في عام ١٩٣٣ فقد وجد أندرسون بعض المسارات الجسيمية التي نظر إليها على أنها مسارات للإلكترونات في صورة الفوتوغرافية الناتجة من الأشعة الكونية ومع هذا فهي حتى الآن مسارات ميونية غير محددة، وهذا أكد الشك في فشل الديناميكا الكهربية الكمية عند طاقات الجسيمات العالية[1]، وقد نقح أندرسون المزيد من طرق القياس عن طريق وضع ماص بلاتيني بعرض واحد سم في الغرفة الفقاعية، فأوقف هذا الماص الإلكترونات وسمح للميونات بالمرور خلاله، فكانت النتيجة الواضحة أن هذا الماص البلاتيني سمح للميونات بالمرور للجسيمات المشحونة الأثقل من الإلكترون، فمن إحدى وجهات النظر أن الديناميكا الكهربية الكمية تكون أفضل في تحقيقها لمعرفة الطاقة المفقودة عن طريق عمليات التأين وأنها تتنبأ بمعرفة الجسيمات الأخف من البروتون (إذا كانت تنبؤاتها صحيحة للجسيمات ما بين

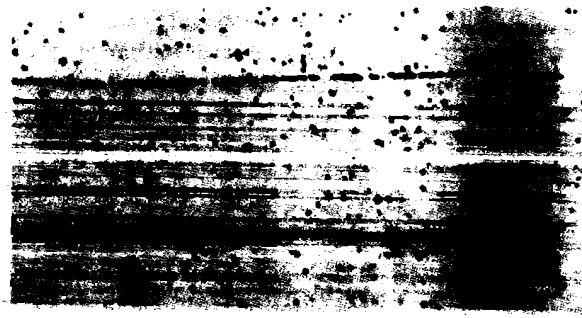
---

(1) Ibid., 2 and 12-15.; Anderson and Anderson 1983, 143-146.

وقد أكد جاليسون (Galison 1987, 137) أن أندرسون قد استخدم الغرفة السحابية عينها لاكتشاف البوزيترون، ولكنه قام بعمله بتقنية تجريبية أكثر تقدمًا.

مكتبة الفكر الجديد

الطاقة المنخفضة والطاقة المتوسطة)[1]، وبهذه الطريقة انتهى التضارب الذي كان موجودًا وزادت الثقة في الديناميكا الكهربية الكمية.



شكل (٣-٧) مسارات البروتون المُقاسة بالمستحلبات النووية
(Powell et al. 1959, 31)

---

(1) Pais 1986 ,432, Cassidy 1981,14

ينتمي السياق النظري والتجارب المختلفة إلى مدرستين منفصلتين في الفيزياء الجسيمية. ليس بمقدورنا الاستفاضة هنا في شرح التفاصيل التاريخية للمراحل الدقيقة التي أدت إلى تحديد الميونات، انظر جاليسون ١٩٨٧، الفصل الثالث؛ خصوصًا من ص ١٢٦ إلى ص١٣٣.

فقد أكد جاليسون أن اللحظة الدقيقة لاكتشاف الميون لم تكن معروفة لأن الاكتشاف كان نتيجة عملية التعليم التجميعي بين جسيم الفيزيائيين (مثل التيونترينو). وفي هذه العملية التعليمية التجميعية قد تم حذف مزيد ومزيد من الخيارات بعناية: "فالانتقال إلى قبول الميون لم يكن كشفًا لحظيًا. ولكن عبر تعقب سلسلة ممتدة من التفكير التجريبي مثل هذا، فقد رأينا عملية دينامية تحدث، بينما تكون محصورة أحيانًا في الزمان، في فيزياء الجُسيمات مرارًا وتكرارًا. وبوسعنا أن نرى هذا النمط من الحذف التدريجي للبدائل، على سبيل المثال، في اكتشاف النيوترينو". المرجع السابق نفسه، ص١٣٣.

مكتبة الفكر الجديد

إن تطوير الديناميكا الكهربية الكمية ونجاحاتها التجريبية أخذت عدة منعطفات في الثلاثينيات ١٩٣٠ ولم نتمكن هنا من عرضها بمزيد من التفصيل[١]، ومع هذا فإن النتيجة واضحة حتى لو أن درجة قبول هذه النظرية أخذ في ازدياد بعد اكتشاف البوزيترون، وقد استعرض محتواها التجريبي بعناية قبل دخول أية قوانين لها في تحليل المسارات الجسيمية.

وعندما تمت الموافقة النهائية للديناميكية الكهربية الكمية، فقد أحدثت تنبؤاتها للطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة في المادة قوانين قياسية أفضل، والآن يمكن الأخذ بمميزات صيغة بيث – بلوك وهكذا، بالنسبة إلى تحليل المسارات الجسيمية أو بالنسبة إلى تطوير الكمي لنظرية القياس الكلاسيكي.

لقد أحدثت صيغة الديناميكا الكهربية الكمية للتأيين والفرملة والإنتاج الزوجي تنبؤات نظرية لعلاقة مدى الطاقة، فأمكن مقارنة التنبؤ الديناميكي الكهربية الكمي للعلاقة شبه التجريبية المقابلة مباشرة والتي تعتمد على النموذج الجسيمي الكلاسيكي وتعتمد على الأطوال المقاسة للمسار في تجارب التشتت. وبهذه الطريقة يمكن تحديد الجسيمات المشحونة عن طريق قياس كتلها، وتجمع نظرية القياس المقابلة بين العلاقة النظرية الكمية لمدى الطاقة مع الحساب الكلاسيكي لانحناء المسار في المجال المغناطيسي المبني على قوة لورنتز، وتم تنقيح قانون القياس الكلاسيكي عن طريق التصحيح النظري الكمي، وأنه يطابق مثيله في تطوير نظرية القياس التي تبني علي الفيزياء بأجزائها المتنوعة[٢]، والآن أصبحت قياسات الكتلة دقيقة بالمقارنة لحسابات

---

(١) انظر: Schweber1994

(٢) انظر الفصل الرابع.

مكتبة الفكر الجديد

أندرسون الخام القديمة لكتلة البوزيترون والميون والتي كانت أقل كثيرًا في النظرية المحملة.

إضافة إلى أنه تم تنقيح المزيد في الأربعينيات ١٩٤٠ لطرق قياس الكتلة التي لا تعتمد تمامًا على الديناميكا الكهربية الكمية، فكانت للمستحلبات النووية الجديدة حيزًا عاليًا من الثبات، وقد سمحت بتعيين كتلة الجسيم بدقة عالية غير معتمدة على مداها مستخدمة قياس الكثافة النقطية الحبيبية[١]، وقد أمكن لهذه الطريقة في عام ١٩٤٧ أن تميز الميون المكتشف في ١٩٣٦ والبيون الذي تم التنبؤ به عام ١٩٣٥ في نظرية يوكاوا للتفاعل القوى، وأخطأت في الميون من عام ١٩٣٦ حتى ١٩٤٧، فقد كانت كتل الميون والبيون ١٠٦ م أ ف و ١٤٠ م أ ف على التوالي[٢]، لم يستطع أندرسون أن يحلم بإقرار مثل هذا الفرق البسيط من قياس الكتلة تجريبيًا في عام ١٩٣٢ وأصبح المزيد من التقدم في تطوير مثل هذا النوع من التحليل الظاهراتي للمسارات الجسيمية ممكنًا عندما اخترع جلاسر الغرفة الفقاعية في عام ١٩٥٤ حيث استطاعت أن تسجل مضاعفات المسارات الجسيمية في الوقت نفسه وتجعلهم مرئيين لحظيًا في الصور الفوتوغرافية.

لقد أمكن أيضًا فحص العلاقة شبه التجريبية لمدى الطاقة بدقة عالية للعديد من أنواع الجسيمات وبمدى كبير من الطاقة بمجرد استخدام الغرفة الفقاعية في تجارب التشتت في المعجلات الجسيمية، وهكذا فمن إحدى وجهتي النظر عند حساب الطاقة المفقودة للجسيمات المشحونة في المادة وجد

---

(1) Rossi 1952, 138-142.
(2) Ibid.,162-163, and lattes 1983.

مكتبة الفكر الجديد

التشابك للديناميكا الكهربية الكمية مع نظرية القياس الكلاسيكية لمسارات الجسيم، ومن الوجهة الأخرى ما زال للفيزياء الجسيمية طرق مستقلة لتحديد الجسيمات عند نهايتها، على الأقل فإن ذلك يتحقق كلما أمكن تحديد لأنواع الجسيمات باستعمال المسارات الجسيمية هى وأحداث التشتت في المادة الملاحظة.

يعتمد قياس التغير في الرنينيات فقط على النموذج النظري الكمى للاضمحلالات المرتبطة بالجسيمات غير المستقرة. وبذلك وصل تشابك الديناميكا الكهربية الكمية مع طرق قياسها إلى مرحلة لم تكن لتطول حتى حدد نوع الجسيم دون الاعتماد على نظرية الكم، وسميت هذه المرحلة الجديدة بالنظرية المحملة لخطوات القياس بنظرية T لسنيد[1]. وقد وصلت إلى هذا بعد التدعيم التجريبى والنظرى للديناميكا الكهربية الكمية إضافة إلى تفسير الرنينيات بدلالة الجسيمات غير المستقرة التى بقيت أيضًا فى العديد من السبل متعلقة بتحليل المسارات المرتبطة بأحداث التشتت المنفردة التى تعزى إلى الرنين.

٣-٦ هل توجد جسيمات دون ذرية؟

يتكون أساس الملاحظة فى فيزياء الجسيمات من قياسات الموضع ومسارات الجُسيم وأحداث تشتت ورنينيات. لقد رأينا في هذا الفصل كيف يرتبط هذا الأساس باثنين من المفاهيم غير الصورية للجُسيم؛ أعني المفهوم العلي والمفهوم الميريولوجي. بناءً على ما تقدم؛ تتسبب الجُسيمات في الآثار

---

(1) Smeed 1971.

مكتبة الفكر الجديد

الموضعية في كشافات الجُسيمات. فأحدثت ملاحظات ارتدادية كما يحدث فى تأثير كومبتون والطقطقة التى تحدث فى عدادات جيجر والمسارات الجسيمية وأحداث التشتت التى ينطبق عليها قوانين حفظ معينة وهكذا. وطبقًا لما سبق فإن الجسيمات عبارة عن أجزاء ميكروسكوبية من المادة. فتمثل أساس علاقات الجزء بالكل التي يتم التعبير عنها من خلال قواعد جمع معينة لمكونات نظام ديناميكي مركب. لقد تم توارث المفهومين الصوريين للجسيم كليهما عن الميتافيزيقا التقليدية وفلسفة الطبيعة. كما فحصنا تفصيلاً البنية التحتية للأساس الملاحظاتي لفيزياء الجُسيمات التي تم تفسيرها من خلال هذه المفاهيم الجُسيمية. ونقف الآن على أرضية أفضل كثيرًا فيما يتعلق بالسجال حول الواقعية العلمية والتساؤل حول ما إذا كان هناك ثمة جُسيمات دون ذرية.

وفقًا لما توصلنا إليه في الفصل الأول والثاني، يتكون الواقع التجريبي من أحداث عارضة ونتائج قياس فعلية. ومن وجهة نظر الواقعية المعتدلة التي تتبناها هنا فإن الواقعية التجريبية مُحملة بالنظرية. فتعتمد كل القياسات على نظريات القياس ويتم التعبير عن كل نتائج القياسات من خلال الكميات الفيزيائية. وتندمج الكميات في المقاييس وتُعزى إلى موضوعات ونُظم فيزيائية. إن المقاييس وفكرة الموضوع الفيزيائي هي المخططات الإدراكية الأساسية أو الأولية للفيزياء الحديثة. إنها تأتي جنبًا إلى جنب مع المناهج التحليلية والخصائص البنيوية للعلم الجاليلي. إنها السائدة كلاسيكيًا وينشأ عنها المفهوم التعميمي للملاحظة التي ناقشناها في الفقرة (٢-٦). تم شرح هذا المفهوم التعميمي للملاحظة في الواقع من خلال مصطلحات ميتافيزيقية تقليدية عن الجوهر والعلية. فيُعد الموضوع أو النسق القابل للملاحظة

مكتبة الفكر الجديد

بالمعنى الواسع حاملاً فرديًّا للكميات الفيزيائية، أي جوهرًا. ويتم نسبة هذه الكميات إليه على أساس رواية علية فردية تربطه بالظواهر الملاحظة والمعطيات المُقاسة.

لقد صارت المخططات الإدراكية للفيزياء الكلاسيكية ضعيفة بلا ريب في ضوء بنية الكم لمجال ما دون الذرة. وهنا لم تعد المخططات الإدراكية للجوهر والعلية منطبقة بشكل كامل. لقد أصبحت نسبة القيم المقاسة للموضع، وكمية الحركة، والكتلة، والشحنة، والطاقة وما إلى ذلك؛ إلى الأجزاء دون الذرية للمادة أمرًا مثيرًا للجدل إلى حد بعيد في ضوء علاقات عدم التحديد عند هايزنبرج، لذا فبمقدورنا القول: إن ثمة جُسيمات دون ذرية فقط إذا ما كان ممكنًا أن نقيم روابط علية تعود بنا بوضوح من المعطيات إلى الكميات الفيزيائية للأجزاء الميكروسكوبية للمادة. أو – بعبارة أخرى – أن ثمة جُسيمات دون ذرية فقط إذا ما كان ممكنًا ملاحظتها بالمعنى التعميمي كأجزاء للمادة تُسبب آثارًا موضعية في مجسات الجُسيمات.

وفي الواقع فإن كل طرق الكشف عن الجُسيمات التي نوقشت في هذا الفصل تفي بهذا المعيار لوجود جُسيمات دون ذرية. من الجلي أن اكتشافات الإلكترون والفوتون كانت ملاحظات بالمعنى التعميمي المُقترح هنا. فقد قاس طومسون خصائص قيم e/m لأشعة الكاثود (أى النسبة بين شحنة وكتلة الإلكترون الذى هو أساس أشعة الكاثود) في عام ١٨٩٧. وأكد ميليكان بعد ذلك أنه يمكن أن يعزو ذلك بوضوح إلى قطرات الزيت المنفردة (انظر فقرة ٣-٢-١).

مكتبة الفكر الجديد

وضع أينشتين فرضية الضوء الكمي في عام ١٩٠٥ وعزا كمية الحركة $p = \hbar k$ إلي الضوء الكمي. وأكد بعد ذلك كل من بوث وجيجر أن الضوء الكمي ينقل كمية حركة (أو يفقد طاقة ويقلل ترددها) عندما ينتج عنه إلكترونًا مرتدًّا (انظر فقرة ٣-٢-٢). إن الطرق النظرية لعمل قياسات الموضع وتحليل المسارات الجسيمية تُتيح إمكانية نسبة قيم واضحة للكتلة، والشحنة، وكمية الحركة إلى مسار الجُسيم متى كانت مناهج تحليل المعطيات حصيفة إلى حد كاف الفقرتان (٣-٣، ٣-٥). يهدف تحليل أحداث التشتت إلى تفريد الجسيمات الموجودة في التفاعلات دون الذرية والتي تخضع لقوانين حفظ معينة. وهنا تعود الرابطة العلية خلفًا من مسارات الجسيمات القابلة للملاحظة إلى كميات دينامية محافظة من قبيل اللف المُناظر isospin (هو لف مغزلى لجسيم ما موجود فى مستوى طاقة معين يتم التعبير عنه برقم كمى يأخذ قيمة صفرية أو ذات مضاعفات العدد الصحيح أو النصف) والغرابة والتي يمكن نسبتها بوضوح إلى حدث تشتت منفرد. وحدها الرنينيات مختلفة. فالرنين في حد ذاته لا يُشير إلى جزء منفرد من المادة ولكن إلى نوع معين من حالة الجُسيم غير الثابتة فحسب. ومن أجل فصل جُسيم معين عبر التفسير التعميمي للملاحظة، ينبغي القيام بالمزيد من العمل الاستكشافي.

من الواضح أن المعيار المذكور آنفًا ضروري، ولكنه ليس شرطًا كافيًا لوجود جُسيمات ما دون الذرة. ومن أجل إعطاء شروط كافية، فإن الطرق التي تنطبق بها مفاهيم الجُسيمات الميريولوجية والعلية على ظواهر فيزياء الجُسيمات يتعين بحثها بشكل أكثر تفصيلاً. تُمثل البنية الكمية للمجال دون الذري العقبة الأساسية من أجل إيجاد شروط كافية من هذا القبيل.

مكتبة الفكر الجديد

ومع ذلك يخفق مذهب الضد–واقعية الفلسفية الحديثة في فهم هذا النوع من العقبات. تُركز الاتجاهات التجريبية والبنيوية المُعاصرة في فلسفة الفيزياء على المشكلات الفلسفية التي تكون غير ذات صلة – بدرجة أو بأخرى – بفهم لماذا تكون واقعية ما دون الذرة على المحك. إن البنية الراسخة لأساس الملاحظات لفيزياء الجُسيمات يدعم الحُجج العامة ضد التجريبية والبنيوية التي عُرضت في الفصل السابق. دعونا نستحضر الاعتراضات المركزية للتجريبيين والبنيويين ضد استدلالات الفيزيائيين من المُعطيات التجريبية إلى الكيانات غير القابلة للملاحظة من قبيل جُسيمات ما دون الذرة.

١– المُعطيات التجريبية مُنتجات تقنية وليس لها وجود في الطبيعة. يفوت هذا النقد عرضية المُعطيات المأخوذة عن طريق مُكتشف الجُسيمات. حتى لو أن الآثار الموضعية للإلكترونات أو البروتونات يمكن مشاهدتها عن طريق الأجهزة التكنولوجية مثل الغرفة الفقاعية وهذه الجسمات لا تستطيع أن تتولد اعتباطيًا، فالمسار الجسيمي إما أن يكون مصورًا أو لا يكون وقد يكون للمسار انحناء صغير أو كبير وقد يكون لنقاطه المقاسة كثافة منخفضة أو عالية، وهكذا إن الشكل الظاهراتي للمسار لا يكون في مرمى التجريبيين، بالإضافة إلى أن الظواهر الملاحظة في تجارب التشتت الخاصة بالشعاع الناتج من المعجل الجسيمي تتداخل مع الظواهر الملاحظة دون الشعاع الجسيمي. توجد استمرارية التركيبات التجريبية الملاحظة والتي يتراوح مداها من خارج الطبيعة إلى فيزياء داخل المعمل. ما زالت

مكتبة الفكر الجديد

العدادات الجسيمية تصطاد أو تعد المسارات الجسيمية نتيجة وجود الأشعة الكونية وذلك عندما يتوقف الشعاع (من المعجلات) (لقد بدأت الفيزياء الجسيمية بفحص الأشعة الكونية وعادت إليها في جسيمات الفيزياء الفلكية الحديثة) وتحت الظروف والشروط المعروفة جيدًا فإن صور مسارات الميون الناتجة من الأشعة الكونية يكون لها نفس شكل مسارات الميون الناتجة من الأشعة الكونية يكون لها نفس شكل مسارات الميون الذي تم عده عن طريق العداد الجسيمي (الموضوع أمام المعجلات المنشأة).

٢- العلل غير القابلة للملاحظة والبُنى غير التجريبية لا تنتمي إلى الواقعية التجريبية ولكن إلى الميتافيزيقا. إن عرضية ظواهر ما دون الذرة مفقودة مُجددًا. لقد سجلت النتائج المعملية وهي ليست متولدة اعتباطًا، إن البناء أو التركيب التجريبي المثبت يكون نظرية – محملة، ولكنها لا تحدث ظواهر محتملة أو طارئة، وإن أي مسار جسيمي يكون جاهزًا في معرفته من خلال النتائج، ولا سيما في حالة مسار الإلكترون الذي يظهر له انحناء عكسي لحالة مسار البوزيترون حينما يوجد في مجال مغناطيسي وكذلك الحال في حالة انحناء الميون بإشارتها ولكنها بانحناء أصغر كثيرًا، وقد دل العلم النيوتوني بتأثيرات مختلفة نتيجة أسباب قانون شبيه ولكن مختلف، والاستدلالات العلية لم تكن لتحدث ميتافيزيقا فاسدة، إن الاستدلال فقط بأن سبب مسار الجسيم هو في تحول الجسيم الكلاسيكي ليكون ميتافيزيقيًا فاسدًا حقيقة، فقد أوضحت المسارات الجسيمية أنه المكون

مكتبة الفكر الجديد

التجريبي للنظرية لم يستطع أن يكون ثابتًا كما اعتقد (فان فراسين) بسهولة، يكون المكون التجريبي للمسار الجسيمي في عالم دون الذرة من نقاط مقاسة متفردة فقط ويكون التركيب التجريبية المقابل لذلك غير متصل، بما يتعارض مع التركيب التجريبي للميكانيكا الكلاسيكية والتي تختص بحركة الكواكب، ويعتمد مفهوم التركيب التجريبي جدًا على المعرفة النظرية، ولا تختص نماذج النتائج المتصلة بالتركيب التجريبي لنظرية الكم ولكن تخص التركيب التجريبي للميكانيكا الكلاسيكية، ومن ثم فإن معيار فان فراسين الخاص بنماذج النتائج والتي سمحت فقط للبناء الزمني المكاني أن يقتصر على البناء الكمي وهذا طبيعي تم تدوينه[١] وهنا ظهرت نقطة إضافية، أن الاكتشافات التجريبية قد تغير المكون التجريبي للنظرية، فقد أعطى اكتشاف البوزيترون مكونًا تجريبيًا لحلول معادلة ديراك ذات الطاقة السالبة والتي كانت تسمى في السابق غير الفيزيائية، وأن الجزء غير التجريبي للنظرية لم يكن ميتافيزيقا فاسدة، وأنها لا غنى عنه في وصفنا للحقيقة الفيزيائية، وقد يكون الوصف خاطئًا أو صائبًا، وفي أي الأحوال فإنه يصبح قابلاً للاختبار في طريقة غير متوقعة ويحدث تنبؤات تجريبية غير متوقعة.

٣- التحميل النظري theory-ladenness للمعطيات والظواهر يتأسس على التعايش المُشترك بين النظرية والقياس. يصطدم هذا الاعتراض بالحُجتين السابقتين. إذا ما تشابكت النظرية مع القياس فهنا لا توجد

---

(١) انظر مناقشاتي لـ : (Van Fraassen 1980) في (الفقرة ٢-٦) ص٥٩-٦٠.

مكتبة الفكر الجديد

نتائج محتملة. وطبقًا لما جاء بكتاب بيكرنج "تأسيس الكوارك"[1] التي وضح فيها اعتماد نتائج التركيبة النظرية – الجمعية لفيزياء الطاقة العالية على التكوين المدرسي للمجتمع العلمي، ومع هذا فإنها تعرف هنا بأن أساس الملاحظة للفيزياء الجسيمية له تركيب طبقي والذي يبنى تجريبيًّا بعناية، يوجد في كل طبقة لاعب داخلي مشاهد قياسي ونظري، ولكن في كل طبقة فقط تعتبر طرق القياس مستقلة لتكون موثوقة كما لم تؤكد النظرية طوال ذلك، إن تكافل النظرية والتجربة هو النتيجة وليس نقطة البداية لهذا التطور، إن اعتماد القياس على نظرية المجال الكمي في الفيزياء الجسيمية يأتي فعلاً في مرحلة متأخرة جدًّا للتكوين النظري.

إذا كان هناك فعلاً تكافل للنظرية والتجربة عند بدايات التكوين النظري فحينئذ تكون هذه استنباطات كلاسيكية للفيزياء دون الذرية، في التكافل إذا لم يمنع أحد الفيزيائيين من إحلال الميكانيكا الكلاسيكية والديناميكا الكهربية بما يقابلها من النظريات الكمية، وبعد كل ذلك فلم يترك شيء للبنائيين والتجريبيين ليعارضوه ضد تفسير القياسات الموضعية والمسارات الجسيمية وأحداث التشتت والرنينيات كدليل تجريبي للجسيمات دون الذرية، ومع هذا فنحن لا نرى حتى كيف يمكن تفسير الحقيقة دون الذرية بدلالة الجسيمات. إن التساؤلات حول ما إذا كانت المفاهيم العلية والميريولوجية الجُسيمية تعمل أيضًا، وإلى أي مدى، في مجال الكم ما زالت مطروحة حتى اليوم.

---

(1) Pickering 1984.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الرابع

سبر أغوار البنية دون الذرية

لقد ظل البحث فى البنية دون الذرّية من خلال تجارب التشتت على مدار قرن من الزمان؛ حيث أجريت أولى تجارب بحث البنية الذرية التحتية في مُختبر "رذرفورد" حوالي عام ١٩١٠. فى هذه التجارب، افترض "رذرفورد" وجود نواة نقطية داخل الذرة كمركز تشتت جسيمات ألفا عند سقوطها على شريحة الذهب وذلك لتفسير ارتداد بعض من هذه الجسيمات فى الاتجاه الخلفى. ولقد أوضح المزيد من تجارب التشتت أن نواة الذرة ليست مجرد نقطة صماء. فقد اتضح أن النواة، كما اتضح فى الذرة سابقًا، أن لها تركيبًا داخليًّا فى تجارب التشتت عند قيم من الطاقات العالية. وقد قيست الآن تأثيرات البروتونات والنيوترونات. وبعد ذلك بكثير، عاودت قصة التشتت الخلفى لرذرفورد الظهور وظهرت معها مكونات الكواركات كتركيب داخلى للنويدات (النيوكلونات) على الساحة.

لقد قدمت تجارب التشتت لفيزياء الجسيمات مفهوم الجسيمات الجديدة. إن الجسيم هو "مركز تشتت" داخل الذرة فى عرف نظرية التشتت وما يرتبط بها من طرق قياس. ويكون معنى "الذرة" هنا هو ذرات داخل حيز مادي ماكروسكوبي قد تكون فى الحالة الصلبة لهدف ثابت كما هو فى الرقيقة الذهبية فى تجربة "رذرفورد" أو فى خزان مملوء بالهيدروجين السائل كما

مكتبة الفكر الجديد

فى تجربة الغرفة الفقاعية أو واحدة من الكشافات الكبيرة ذات الهدف الثابت فى تجارب السبعينيات وما تلاها. وهذا المفهوم للجسيمات الجديدة يأتى مناظرًا للفضاء الكونى. إن مركز التشتيت قد يكون نقطيًا أو غير نقطى. فالجسيمات النقطية تعمل فى تجربة تشتت عمل الشحنة النقطية بينما يعمل التركيب اللا نقطى عمل توزيع شحنى ممتد.

إن مفهوم الجسيمات الجديدة عبارة عن نظرية مُحملة. فهو مبنى على نظرية تشتت تقليدية وميكانيكية كمية. إنه يأتى من وصف رذرفورد التقليدى لتشتت "كولوم" على نواة الذرة، كما يأتى من تعميمها الكمى النظرى. ويمكن صياغته، حقًا، بطريقة نموذجية مستقلة. وتحت ظروف تجريبية محددة فهو يقابل اعتبارًا تقليديًا لمركز تشتت. ومن ثم فقد يفيد فى تفسير البنية الذرية التحتية بمصطلحات شبه تقليدية. وفيما يلى سوف يتبين كيف أن المفهوم النقطى واللا نقطى لمركز تشتت يرتبط بالمفهوم غير الصورى للجسيم فى الفصل السابق. والسؤلان الآتيان: كيف يتسق المفهوم السببى والكل – جزئى مع تحليلات تجربة تشتت؟ هل مركز التشتيت بالتركيب النقطى أو اللا نقطى قد تم رصده فى معنى مفهومنا العام فى الفقرة (٥-٢)؟ يعتبران سؤالين فاصلين عند فهم الحديث المعتاد الشائع لمشاهدة البنية الذرية التحتية لمادة بواسطة ميكروسكوب إلكترونى أو معجّل جسيمات. فإلى أى مدى وبأى معنى يمكن أن تقارن تجارب التشتت بالمشاهدات الماكروسكوبية؟ هناك اعتباران نموذجيان عند بحث البنية الذرية التحتية:

أ- لقد أثبتت تجارب التشتت فى معامل "رذرفورد" أنها طرق تجريبية إرشادية عند بحث البنية الذرية التحتية.

مكتبة الفكر الجديد

ب- لقد أثبتت الفروض التقليدية حول مركز التشتيت النقطى التى ساق تحتها "رذرفورد" معادلته للتشتت، بشكل مذهل، أنها مقاومة للتحول من الفيزياء الكلاسيكية إلى ميكانيكا الكمّ؛ إذ إن هذه الفروض من الممكن أن تكون كامنة فى نظرية التشتت لميكانيكا الكمّ. فمع هذه النظرية تنقل هذه الفروض بكفاءة أدوات لوصف تشتت الجسيمات المشحونة عند الذرات وكذلك لتفسير مراكز تشتت البنية الذرية التحتية.

وطبقًا لنموذج "رذرفورد" للتشتت، يفسّر تركيب مركز تشتت بدلالة الطول. واعتمادًا على نتائج تجربة تشتت، المسمى المقطع المقاس الفعلى، يصف الفرد مركز التشتيت الممتد أو شبه النقطى[1]. وبهذه الطريقة يمدّ الفرد مقياس الطول إلى نطاق التركيبات غير المرئية بهدف جعل الولوج إليها ممكنًا. وطالما لا توجد حيل فيزيائية لبلوغ هذا النطاق، تؤدى الطرق المشجعة فقط إلى المعلومات حول تركيب المادة على هذا المقياس. فهى تمضى قدمًا بالنماذج المألوفة على نحو وباعتبارات ما وراء الفيزياء على نحو آخر[2]. وبذلك تبنى الجسور بين النظريات غير القابلة للقياس مثل الميكانيكا النقطية التقليدية وميكانيكا الكم. إنها نموذج الفيزياء الراهنة فى أن المعابر الأساسية ممتدة بالفعل فى تكوين النظرية وبناء النموذج. إنها تختبر هنا نظرية قياس ترتكز على تشتت "رذرفورد" التى تؤدي إلى كشف هوية الجسيمات والتركيبات المجهرية لمراكز التشتت. إن التساؤلين الآتيين فاصلان:

---

(١) انظر الملحق (جـ).

(٢) انظر الملحق (ب).

مكتبة الفكر الجديد

إلى أى مدى تخضع نظرية القياس هذه لنموذج؟ إلى أى مدى يمكن أن يزال الخضوع لنموذج بالتعميمات؟ إن من الواضح أن خضوع نظرية القياس لنموذج يؤثر أيضًا فى التركيب النظرى للظاهرة. إن النموذج هنا هو الوصف المحدد لنظام فيزيائى لنظرية معينة. وبهذا المفهوم يتحدث الفيزيائيون عن الخضوع لنموذج بينما يلمحون إلى وصف أعمّ مبنى على ما وراء الاعتبارات النظرية كعدم الخضوع لنموذج.

ومن باب جدل الواقعية، فإن علينا أن نقول: إن نظرية قياس تجارب التشتت التى تسبر أغوار تركيب الذرة يتمخض عنها بناء تحت ذرى تقليدى واقعى. ولكن نظرية الكم تخبرنا بأن صورة البناء التقليدى للمادة لم تعد تعمل. ففى إطار نظرية الكم، يتبين لنا أن بنية ما دون الذرة شبه تقليدى. والفحص الأقرب يبين لنا أن نموذجها قد صمم كما لو كان مركز التشتيت هو توزيع شحنى تقليدى. ومن ثم، فأين الحدود الفاصلة بين النطاقين التقليدى والكمى؟ وأين بالتحديد تسقط؟ وإلى أى مدى تحوى تجارب التشتت أى نموذج مستقل أو بناء واضح المعالم لواقعية ما دون الذرة؟

وللإجابة عن هذه الأسئلة نمضى كما يلى:

نبدأ ببعض تجارب التشتت النموذجية لفيزياء الجسيمات ونظريات قياسها التى تم شرحها فى الفقرة (٤-١) ثم يتم تقديم مفهوم ما وراء النظرية وهو مفهوم "لا متغيرة" المقياس. فإن "لا متغيرة" المقياس هو تماثل. إنه "لا متغيرة" مقطع مقاس عند مقياس متحول. فمن حيث التماثل، فهو مرشح جيد لمفهوم النموذج المستقل. على أى حال، هذا الموضوع لا يرقى الى حد اليقين. فالمقياس الثابت يدخل تحليل بيانات تجارب التشتت من خلال التحليل البعدى، فى حين أن التحليل البعدى هو نهج كشفى يعتمد بدوره على بناء

مكتبة الفكر الجديد

شبه تقليدى لمقاييس الكميات الفيزيائية فقرة (٤-٢). إن التحليل البعدى و"لا متغيرة" المقياس يؤديان إلى المظهر النقطى. ذلك مفهوم فراغى لا يمكن تعميمه طواعية ليدخل فى نطاق نظرية الكم النسبية فقرة (٤-٣). إن مفهوم المظهر النقطى يؤدى أخيرًا إلى تعريف "معامل الشكل" الذى يصف أبنية المظهر اللا نقطى، ويجب تحليل تعريفاتهم بعناية فى النطاقين النسبى وغير النسبى الفقرتان (٤-٣-١، و٤-٣-٢). إن البناء شبه التقليدى لبنية ما دون الذرة قد بنى على سلسلة من نماذج تقابل تشتت "رذرفورد" التقليدى ووصف التشتت بمصطلحات التوزيع الشحنى التقليدى. هذا التقابل (ومعه أى بناء شبه تقليدى لواقعية ما دون الذرة) يهدم بالتتابع تجربة تشتت ذات الطاقة الأكبر فالأكبر، والأصغر سبرًا لغور التركيب فقرة (٤-٤). إن علينا أن نعتقد أن تجارب التشتت تؤدى إلى تفسير شبه تقليدى لواقعية ما دون الذرة، بالقدر الذى نهمل به التأثير النوعى لنظرية الكم النسبية. وفى النطاق غير النسبى، تكون "معاملات الشكل" هى الملاذ للواقعية غير المثيرة للمشاكل. ويدعّم هذا الزعم تشابهًا بين تجارب التشتت والميكروسكوب الإلكترونى فقرة (٤-٥). فالتشابه يدعم مجاز النظر الأعمق فالأعمق داخل الذرة بواسطة معجلات الجسيمات. ويناقش هذا المجاز أخيرًا بمصطلحات المفهوم العام للمشاهدات المطورة فى الباب الثانى فقرة (٤-٦).

٤-١ تجارب التشتت

إن تجارب التشتت بسيطة. ففى التجارب ذات الطاقة المنخفضة، يتم إرسال الإشعاعات فى صورة حزمة ضيقة تجاه هدف ما. وقد تكونت تجارب "رذرفورد" لتشتت من جسيمات "ألفا". وقد استغرق "رذرفورد" عشر

مكتبة الفكر الجديد

سنوات ليحدد كتلة وشحنة جسيم ألفا. وبمجرد أن أصبحت حقيقة مادية ثابتة، بدأ مساعد "رذرفورد" وهو "جيجر" استخدامها فى إجراء تجارب التشتت[١]؛ حيث كان المصدر هو خيط الراديوم وكان المشتت رقيقة من الألومنيوم أو الذهب. ولقد كان كشف جسيمات ألفا فرادى بواسطة طريقة عداد "كروكس" الوميضى التى تم توصيفها فى الفقرة (٣-٣). ولقد كانت الدهشة الكبرى لكل من "جيجر" و"مارزدن" أن يجدا تشتتًا خلفيًّا بدرجة أكبر من ٩٠ درجة. وبعد ذلك بسنين عديدة وصف "رذرفورد" هذا الكشف غير المتوقع فى محاضرة كما يلى:

"لقد كان ما حدث أكثر ما شهدته في حياتي من إعجاز على الإطلاق. فالأمر في إعجازه يشبه أن تُطلق قذيفة سمكها ١٥ بوصة نحو قطعة من ورق المناديل الورقية لترتد إليك لتصدمك"[٢].

من الجلي أن هذا الكشف كان عن طريق الصدفة. ليس فقط فى إمكانية حدوثه بصورة مختلفة؛ بل فى أنه كان متوقع الحدوث ليس إلأ. فى الحقيقة، كانت طريقة القياس مستقلة النموذج فيما يتعلق ببنية ما دون الذرة لرقيقة الذهب. لقد اعتمدت فقط على خلفية المعلومات حول طبيعة جسيمات ألفا وطريقة "كروكس" الوميضية؛ حيث كانت المعلومة الأولى مؤكدة باستقلال من العقد السابق لذلك الوقت بينما تولد عن الثانية مشاهدة تجريبية فى إحساس صارم. ثم جاءت حسابات نظرية التشتت بعد ذلك فقط. ولقد استنفذ "رذرفورد" سنتين يحسب احتمال التشتت الخلفى فى نظريات ذرية

---

(١) انظر .Pais 1986 ص ٦٠-٦٢ وص١٨٨-١٩٠.

(٢) نقلا عن المرجع: Andrade 1964, 111.

مكتبة الفكر الجديد

متعددة. (وهو يمضى الآن طبقًا لنموذج افتراضى استنتاجى لتكوين النظرية. هو لم يوجه كلا من "جيجر" و"مارزدن" نحو قياس المقطع التفاضلى لجسيمات ألفا بما يمكن تحديدًا وشمولاً، بهدف أن يسوق بأسلوب حث نظرية توزيع شحنى داخل الذرة. فأنهى حساباته أولاً. ثم طلب من "جيجر" و"مارزدن" أن يختبرا معادلته للتشتت). ولم يستطع التوزيع المتجانس للشحنة فى نموذج "طومسون" للذرة أن يفسر اكتشاف "جيجر" و"مارزدن". ثم استنتج معادلته للتشتت أخيرًا من نموذج ذرى بشحنة شبه نقطية وصفت بجهد "كولوم". فى هذا الوقت استطاع أن يفسر التشتت الخلفى. فطبقًا للنموذج، فإن المقطع التفاضلى ($d\sigma/d\theta$) يعتمد على [$\sin^{-4}(\theta/2)$] لزاوية تشتت θ. فالمعادلة تتنبأ باحتمال تشتت زاوى كبير؛ حيث تم التأكيد على تنبؤ هذه المعادلة بتجارب تشتت تالية قامت بقياس التوزيع الزاوى لجسيمات ألفا المتناثرة، باستخدام طرق القياس المستخدمة نفسها من قبل[1].

لقد بدأت تجارب التشتت فى معجلات الجسيمات فى الخمسينيات (من القرن العشرين). ففى المعجّل يتم تعجيل الجسيمات المشحونة (إلكترونات،

---

(١) المرجع ٣ و Trigg 1971. الباب الثانى . فقد أدخل "رذرفورد" حدًّا إضافيًّا للوقاية بالإلكترونات التى اتضح أنها مهملة. ولجهد "كولوم" ، فالحسابات موجودة فى كتب دراسة للفيزياء النووية. وبالتأكيد، كان لـ"رزرفورد" حسن حظ فى تنبُّئه. ..... لقد أجرى "جيجر ومارزدن" تجربتهما للتشتت عند طاقة منخفض لجسيمات ألفا عند طاقة تبلغ ٥ ملايين إلكترون فولت. لقد كانت التجارب غير حساسة للانحرافات عن معادلة "رذرفورد" بسبب التفاعلات القوية بين جسيمات ألفا ونواة الذهب، ولا لأى تأثيرات كم ميكانيكية. ولجهد "كولوم" فقط فميكانيكا الكم لنتائج التشتت تنتج المعادلة نفسها، انظر (الفقرة ٤-٣-١).

مكتبة الفكر الجديد

بروتونات أو أيونات ثقيلة) بواسطة مجال كهربى أو مغناطيسى أو كلاهما حتى قيمة محددة من الطاقة أو كمية الحركة.

وقد كان أول معجل جسيمات هو "السيكليترون" الذى صممه "لورنس" عام ١٩٢٩؛ حيث بدأت السيكليترونات الأولى العمل عام ١٩٣٠. وكان لأول ماكينة أقطاب مغناطيسية ذات قطر ١٠ سم. وكانت العلامة الفارقة الثانية نموذج البوصات التسع؛ حيث عجلت بروتونات لأعلى من مليون إلكترون فولت[١] وبعد الحرب العالمية الثانية بدأ عصر الماكينات الضخمة. فقد ازداد حجم الماكينات بغية رفع طاقة وابل الجسيمات.

وقد بنى أول سينكروترون فى الخمسينيات من القرن العشرين؛ حيث عجلت جسيمات تراوحت طاقاتها من ١ الى ١٠ بلايين إلكترون – فولت، وصلت الى ٥٠٠ بليون إلكترون – فولت فى السبعينيات[٢]. وفى الوقت الحالى تعجل الماكينات جسيمات تصل من ١ الى ١٠ تريليونات إلكترون – فولت.

فى تجارب التشتت، تأتى الجسيمات محددة الطاقة من المعجلات. وفى تجارب الهدف الثابت، يوجه الوابل نحو كتلة المادة التى يحدث عندها التشتت. ويتم تتبع الجسيمات المشتتة إما بالهدف ذاته كما فى حالة غرفة الفقاعة التى ظهرت على يد "جلاسر" عام ١٩٥٢، أو عن طريق تزويد الهدف بكشافات متطورة كالوامضات ومضاعفات الفوتونات وغرف الشرارة وغرف الانجراف وعداد "شيرينكوف" وغيرهم. هذه الأنواع الجديدة من

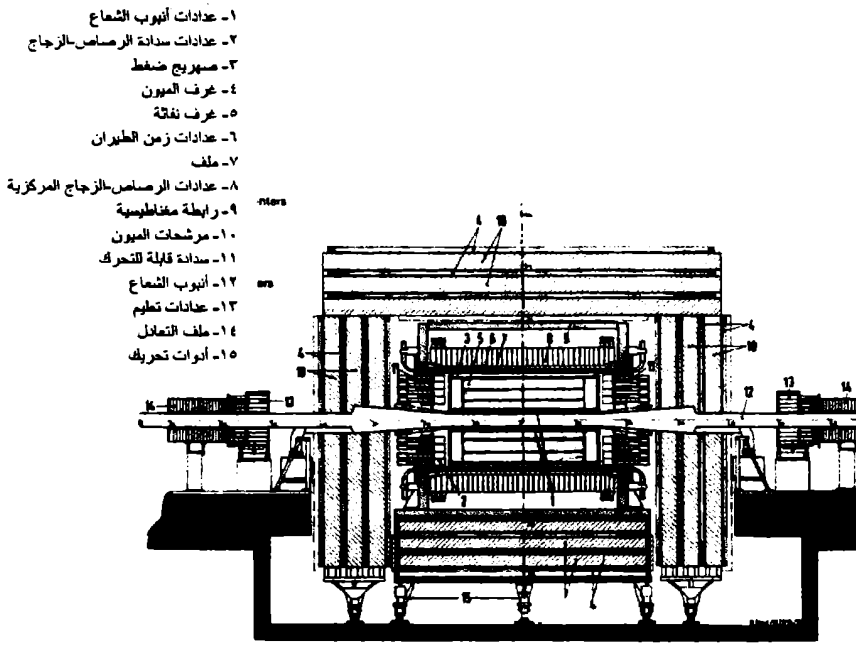
---

(١) المرجع ٣ ص ٤٠٨.

(٢) المرجع ٣ ص ٤٧٥– ٤٧٨.

مكتبة الفكر الجديد

كشافات الجسيمات جعلت تجارب المصادمات أمـرًا ممكنًـا. ففـى تجربـة مصادم، يتقاطع وابلان من الجسيمات فى منطقة تفاعـل ثـم تتـشتت عـن بعضها. ويتم تسجيل الجسيمات المشتتة بواسطة كاشـفات تحـيط بمنطقـة التفاعل بشكل كامل قدر الإمكان، حتى تشمل كل تفاعلات الجسيمات خـلال زاوية فراغية كبيرة بقدر الإمكان. والفكرة التى تكمن وراء تصميم تجـارب المصادم هى، للمرة الثانية، لزيادة طاقة التشتت. فالهدف الثابت يكـون فـى وضع السكون طبقًا لمحاور إسناد المعمل، بينما فى المصادم يـرغم وابـلان ذوي طاقتين عاليتين يسيران فى اتجاهين متعاكسين على التصادم. وبالتـالى تكون طاقة التصادم فى نظام مركز الكتلة، أعلى بكثير.



الشكل (٤-١) . تجربة "كولدر"، الكشّاف JADE لقياس تصادم الإلكترون والبوزيترون من DESY (المرجع Perkins 1987.)

مكتبة الفكر الجديد

لماذا صنعت الماكينات أضخم وأضخم للوصول إلى طاقات أعلى وأعلى؟ إن السبب الكامن وراء ذلك بسيط. إنه يقول: إنه كلما ارتفعت طاقة وابل الجسيمات تحسن معها التمييز الفراغى لتجربة التشتت وبالتالى يصغر التركيب الفراغى الذى يمكن مشاهدته. والفكرة الأساسية التى تكمن وراء ذلك المُوجه المُساعد تنبع من ميكانيكا الكمّ. ففى ميكانيكا الكم للتشتت، يوصف الوابل بدالة موجية Ψ. والجسيمات داخل الوابل المسماة الجسيمات المسبارة لها كمية حركة p. وطبقًا لميكانيكا الكمّ، تقابل كمية الحركة هذه طولاً موجيًّا ($\lambda = \frac{h}{p}$) طبقًا لمعادلة "دى برولى". وبزيادة طاقة وابل الجسيمات أو كمية حركته يقل الطول الموجى للجسيمات المسبارة لأغوار المادة. ولكن كلما صغر الطول الموجى للإشعاعات لجهاز مشاهدة، صغرت معه التركيبات التى يمكن مشاهدتها. والخلفية النظرية لهذا المبدأ هى محاكاة معادلات الموجة فى ميكانيكا الكمّ والبصريات أو معجل الجسيم والميكروسكوب[1]. على أى الأحوال، معجلات الجسيمات كبيرة. فهى تعجّل الجسيمات المشحونة بجعلها تمر خلال مجالات كهربية ومغناطيسة ماكروسكوبية عبر مسافات ماكروسكوبية كبيرة. ومن ثم يتم التعجيل طبقًا لقوانين الميكانيكا الكلاسيكية والديناميكا الكهربية. وعلى النقيض الواضح بالنسبة إلى الإلكترونات داخل الذرة (ذات الوضع الكمى الثابت)، فإن الوابل الماكروسكوبى الدوّار المكون من جسيمات مشحونة يطلق أشعة سينكروترونية. وعلى الرغم من أن الوابل ينتج ويستخرج من المعجل طبقًا لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، فإن التشتت يوصف من خلال ميكانيكا الكم.

---

(١) انظر فقرة (٤-٤).

مكتبة الفكر الجديد

فطبقًا لميكانيكا الكمّ يجهز الوابل فى *وضع كمّ حركى*. هـذا الوضـع الكـم حركى يقابل *الموجة* المستوية. وطبقًا لميكانيكا الكم للتشتت، يتم حيود الموجة بالتشتت. ومن هنا وبالمُوجه المُساعد المشار إليه سابقًا، يأتي دور طول "دى برولى" الموجى إلى دوره فى اللعبة. على أية حال، يتم بعـد ذلـك رصـد الجسيمات المشتتة أو آثار مساراتها. وطبقًـا للتفـسير الاحتمـالى المعتـاد لميكانيكا الكمّ، فإن احتمال تشتت الجسيمات ذات حالة معينة تقابـل مربـع السعة $|\Psi^2|$ للموجة الحائدة. ويقابل هذا، من وجهـة النظـر التجريبيـة، احتمال التكرار النسبى لرصد جسيم من نوع معين، لعدد كبير من تفـاعلات الجسيمات أو حالات التشتت(١).

ويمضى تحليل البيانات لتجربة تشتت طبقًا للخطوات السابق بيانها فى الفقرة (٣-٣). ثم يتم قياس المواضع؛ حيـث تقـود إلـى آثـار مـسارات الجسيمات. ويتم تفسير آثار مسارات الجسيمات بدلالة حالات التشتت. فـى الوقت الحالى يتم تسجيل قياسات المواضع بواسطة أجهزة إلكترونية ثم يـتم إعادة تركيب آثار مسارات الجسيمات ووقائع التشتت مـن خـلال بـرامج كمبيوتر. ويتم تحليل آثار مسارات الجسيمات ووقائع التشتت من حيث الكتلة والشحنة وكمية الحركة وغيرها من الكميـات الحركيـة. إن تحليـل آثـار مسارات الجسيمات هو عبء نظرى. على أي حال، فالخلفيـة المعلوماتيـة الموثقة وما وراء الفروض النظرية المتعلقة بوحدة الفيزياء فقط هما الجائزان

---

(١) طبقًا للتعريفات المعتادة للاحتمال، فاحتمال حدث يقابل تجريبيًا التكرار النسبى لهـذا الحدث فى نهاية أحداث كثيرة لا نهائية. انظر الملحق (جـ).

مكتبة الفكر الجديد

هنا[1]. وتؤخذ فى الاعتبارات أعداد التفاعلات ذات النمط المعين. وفى تحليل بيانات تجربة تشتت ذات طاقة عالية تستخدم أسس علم الحركة المجردة النسبية. وتوصف تفاعلات التشتت بالكميات الثابتة النسبوية، مثل كمية الحركة المنتقلة الرباعية q^2. وأخيرًا، ومن العدد النسبى لتفاعلات التشتت ذات كمية حركة معينة، يتم تحديد المقطع التفاضلى أو المقطع الكلى لتفاعل جسيم معين. وتستخدم الطرق الإحصائية القياسية لتحديد نسبة الخطأ فى القياسات.

وفى النهاية، تقدم نتائج القياسات فى صورة جدول أعداد للمقطع التفاضلى أو للمقطع الكلى لتفاعل جسيم معين، كدالة فى كميات الحركة المجردة لتفاعلات التشتت.

إن مقطع عملية تشتت هو الكمية التى تتقابل عندها التجربة مع نظرية الكمّ. وعلى العكس، ففى المقطع التفاضلى والكلى لتفاعلات معينة لعمليات التشتت هى التى تهبط فيها نظريات المجال الكمى الحالية إلى الأرض. ويحسب مقطع تفاعل جسيم من مصفوفة S لحدّ التفاعل فى نظرية المجال الكمى. فالمصفوفة S تعطى الاحتمالات الانتقالية من حالات كمّية ابتدائية إلى حالات كمّية نهائية. وتمثل الحالات الكمّية الابتدائية الجسيمات القادمة فى تجربة تشتت بمعنى وابل الجسيمات وأنوية الهدف. بينما تمثل الحالات الكمّية النهائية الموجات الحائدة الناتجة أو الجسيمات المشتتة التى تم رصدها. فمصفوفة S تصف التشتت بالمعنى الإجرائي فى ميكانيكا مصفوفات "هايزنبرج". إنها تعطى الاحتمالات الانتقالية التى تقابل التكرارات النسبية

---

(١) يتم بحث طريقة القياس فى الفقرة (٥-٣).

مكتبة الفكر الجديد

القابلة للقياس. على أنها تتعامل مع التشتت كما لو كان صندوقًا أسود. أمّا ما يجرى داخل الصندوق الأسود، أى أثناء التشتت، فهو ما تبينه أشكال "فينمان". وهى ليس لها معنى حرفيٌّ بأى حال. إنها أمثلة لأيقونات بسيطة فى امتداد الاضطراب فى نظرية مجال الكمّ. إنها تجعل الحسابات أيسر ولكنها لا تمثل عمليات فيزيائية منفردة[١].

هنا، تتبنى نظريات مجال الكمّ الكهروديناميكا الكمّية نظرية "سلام – وينبرج" للتفاعلات الكهربية الضعيفة والتفاعلات القوية الحالية أى الكروموديناميكا فهى تجمّل النموذج القياسى الحالى لفيزياء الجسيمات. وطبقًا لذلك، فهناك ثلاثة أنواع من اللبتونات (الإلكترون والميون والميزون تاو وما يقابلهم من نيوترينوات) والكواركات (فوق وتحت وشاذ وفاتن وقاع وقمة) التى تختلف فى الكتلة وما يقابلها من الاثنى عشر من جسيمات مضادة، الفوتونات التبادلية والتفاعلات الكهربية الضعيفة والتفاعلات القوية (γ و$W^{\pm}$ وW وثمانية جلونات (غرويات) وبوزون "هجز"[٢]. ويتنبأ النموذج العيارى

---

(١) المصفوفة S معناها مصفوفة التشتت. وقد تمت الحسابات طبقًا لنظرية الكم للتشتت. ويتم حسابها عادة طبقًا لتقريب "بورن" أى طبقًا لأقل المراتب من نظرية الاضطراب. ولقياسات أكثر تحديدًا، تؤخذ فى الاعتبار مراتب أعلى من التصويبات. وتقابل رسومات "فينمان" البيانية تمامًا الحدود الرياضية التى تصف تراكيب تأثيرات نظرية الكم على التفاعل. انظر المراجع:

Brown & Hare 1988., Falkenburg 2002a., & Fox 2006.

(٢) لم يتم إيجاد الأخير حتى الآن، ولكن فى كل التفصيلات الأخرى قد تم تأكيد النموذج العيارى. وقد فشلت كل محاولات تزييفه. والنتيجة الوحيدة فى الخمس والعشرين عامًا الماضية هى الاكتشاف الحديث لترددات النيوترينو.

مكتبة الفكر الجديد

بالكثير من التفاصيل فيما يتعلق بالمقاطع المقاسة فى تجارب التشتت. وعلى وجه التحديد تتنبأ بالرنينيات وانتهاكات "الندية"– الشحنة فى الانحلالات الضيعفة للكيونات وغيرها من الحالات غير المستقرة من الكواركات المقيدة. على أي حال، فقد تم الانفكاك عندما كشفت تجارب التشتت للإلكترونات والميونات عن السلوك التدريجى الذى سيشرح الآن.

٤-٢ تشتت "رذرفورد" والمقياس غير المتغير

دعنا الآن نأخذ نظرة أكثر قربًا لنموذج "رذرفورد" التقليدى لعملية التشتت. فالشحنة شبه النقطية ذات الكتلة m والسرعة الثابتة v وكمية الحركة mv وطاقة الحركة ($\frac{1}{2}mv^2$) تتفاعل مع جهد كهروستاتيكى مركزى v(r). وهذا الجهد من الممكن أن يتولد عن توزيع شحنى ممتد ρ(r) أو شحنة نقطية. فالأول يقابل نموذج "طومسون" للذرة وهو لا يمكن أن يفسر الارتداد الخلفى لجسيمات ألفا. والثانى يوصف بجهد "كولوم" ($v(r)=\pm Ze/r$)، حيث Ze هى شحنة نواة الذرة ذات العدد الذرى Z بوحدات شحنة الإلكترون e و r هى المسافة بين الجسيم المشتت ونواة الذرة. فالجسيم المشتت يتبع مسارًا تقليديًا. والتشتت هو انحراف المسار طبقًا لقانون "نيوتن" للقوة. والمسار الناتج هو قطع زائد. وهو يقابل حلاً تقاربيًا من معادلة الحركة. والنموذج يقابل قضية "كبلر" الشهيرة لحركة الكواكب التى تنطبق على الأجرام السماوية غير المقيدة كالمذنبات. فالشهب التى تتبع مسار القطع الزائدى تظهر مرة واحدة فى المجموعة الشمسية. وبعد التشتت ينحرف الجسيم بزاوية θ. والمسافة الصغرى بين الجسيم ومركز التشتيت هو "معلمة

مكتبة الفكر الجديد

الصدمة" التقليدية b. فى هذا النموذج التقليدى، قام "رذرفورد" بحساب التوزيع الزاوى للجسيمات المشتتة فى معادلته الشهيرة للمقطع:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{C^2}{16E^2 \sin^4\frac{\theta}{2}} \qquad (4.1)$$

وأبعاد المقطع التفاضلى $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ هى أبعاد مساحة. وهى مقياس لعدد الجسيمات التى تشتتت فى نطاق زاوية θ[1]. ويميز هذا المقدار أنه لا يؤول إلى الصفر لزوايا التشتت الكبيرة (θ>9.). بمعنى أنه يقرّ بوجود الارتداد الخلفى الذى تمت مشاهدته فى تشتت جسيمات ألفا على رقيقة ذهب. ويمكن الحصول على الثابت C من عدد الشحنة Z و Z′ للجسيمات المسبارة ونواة الذرة، والثابتين $\hbar$ و c والثابت القارن α للتفاعل الكهرومغناطيسى الذى يمكن الحصول عليه من الشحنة الكهربية الأولية e طبقًا للعلاقة $c\alpha = e^2/\hbar$.

ولمعادلة "رذرفورد" ملمحان أساسيان: أولهما؛ التشتت الخلفى الذى شاهده "جيجر" و"مارزدن" فى معمل "رذرفورد". وثانيهما؛ "التدريج الثابت" للكمية عديمة الأبعاد المستنتجة من معادلة "رذرفورد". فالملمح الأول ذائع الصيت؛ إذ قاد إلى وجود نواة للذرة. أما الملمح الثانى فهو أقل شهرة. فقد تولد عنه تشابه نظرى مهم لمعادلة "رذرفورد" بعد ستين عامًا حينما سبرت تجارب التشتت تركيب النواة ودعت الحاجة إلى تفسير البروتون والنيوترون. إنها صفة "ثابت أساسى" فى نموذج "رذرفورد" لتشتت يدعى "التدريج اللا متغير".

---

(١) انظر الملحق (جـ).

مكتبة الفكر الجديد

إن التدريج الثابت هو تماثل. فهو "لا متغيرة" كمية عديمة الأبعاد تحت تدريج متحول. ففيما يتعلق بالمقطع التفاضلي أو الكلي[1]؛ هو يعنى أن الكمية عديمة الأبعاد التى يتم الحصول عليها بضربها بكميات فيزيائية مناسبة هى ثابتة تحت تحويل تدريجي الطول والطاقة. والمقطع التفاضلي والكلّى لهما أبعاد فيزيائية، هى المساحة. فإذا لم تعتمد الكمية عديمة الأبعاد التى تم الحصول عليها من مقطع مقاس على الطول، فسيعتقد الفرد أن مركز التشتيت والجسيمات المسبارة لا تركيب لها، أو نقطية. إن النقطية تعنى أن الجسيمات المسبارة عديمة التركيب تتفاعل مع مركز تشتيت عديم الحجم. دعنا الآن نرى كيف يرتبط مفهوم النقطية والتدريج الثابت فى نموذج "رذرفورد" التقليدى لتشتت جسيم مشحون نقطى على مركز تشتيت نقطى.

حيث إن: $C = ZZ'\alpha\hbar c$ فيمكن كتابة المعادلة (٤-١) كما يلى:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{\hbar c}{E}\right)^2 \frac{(ZZ'\alpha)^2}{16\sin^4\frac{\theta}{2}} \qquad (4\text{-}2)$$

وكالمقطع، فالكمية $\left(\frac{\hbar c}{E}\right)^2$ لها أبعاد مساحة. وبضرب $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ فى $\left(\frac{E}{\hbar c}\right)^2$ نحصل على الكمية عديمة الأبعاد الآتية:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}\left(\frac{E}{\hbar c}\right)^2 = \frac{(ZZ'\alpha)^2}{16\sin^4\frac{\theta}{2}} \qquad (4\text{-}3)$$

---

(١) يتم تكامل المقطع الكلى على كل اتجاهات الفراغ؛ أى على زاوية فراغية ٤ ط .

مكتبة الفكر الجديد

هنا، تم جعل المقطع التفاضلى عديم الأبعاد بضربه فى $\left(\frac{hc}{E}\right)^2$. هذه الكمية عديمة الأبعاد لم تعد تعتمد على الطول أو الطاقة أو كميات أخرى ذات أبعاد. إنها تعتمد فقط على الأعداد Z و Z وعلى زاوية التشتت θ. وحقيقة أنها لا تعتمد على أى مقدار له أبعاد طول هى فى "لا متغيرة" مقياسها. وهذا يعنى أن مقدارها ثابت عند تحويلات مقياس الطول. وفى الوقت نفسه فمقدارها ثابت عند الطاقة لتجربة تشتت. إنها تبقى كما هى بغض النظر عن ارتفاع أو انخفاض الطاقة التى أجرى عندها القياس.

إن مفهوم "لا متغيرة" المقياس لا يجب أن يختلط مع "اللا متغيرة" العادى لمقياس الكميات الفيزيائية وقوانين الفيزياء عند الاختيار الحر للوحدة التى يصاغ بها المقدار. فالفيزيائيون يعتقدون أن قوانين الطبيعة تبقى كما هى سواء قدّرت بوحدات "سم – جرام – ث" أو بوحدات مقياس "بلانك". فإن "لا متغيرة" المقياس يجب أن تميِّز عن "لا متغيرة" الأبعاد هذا. هذا أمر يتعلق بالفيزياء، فبالمفهوم المخالف، فإن "لا متغيرة" الأبعاد أمر تقليدى. إن اختيار وحدات الطول والزمن والكتلة ودرجة الحرارة المستخدمة فى قوانين الفيزياء اختيارية، بينما يكون المقياس الثابت ليس اختياريًّا بأي حال. فمن ناحية أخرى قد يكون دالاً على تركيب داخلى (تحتى) لمركز التشتيت المسبور. إن "لا متغيرة" المقياس هى مجرد خاصية لبعض ظواهر التشتت فى فيزياء الجسيمات، أو فى قوانين الفيزياء التى تصفهم. أما "لا متغيرة" الأبعاد فهى من المتوقع أن تكون صالحة لكل قوانين الفيزياء. إنها تظهر اتفاق الفيزياء فيما يتعلق بالكميات الفيزيائية. فالكميات التى تقيس خصائص نظم فيزيائية من المتوقع أن تكون من النوع نفسه على المقياسين الكبير والصغير.

مكتبة الفكر الجديد

إن "لا متغيرة" الأبعاد ينبثق عنها تحليل نظم ونماذج معينة. فهى تجادل الخصائص الجبرية لقوانين ونماذج الفيزياء[1]. هذه الخصائص الجبرية يعبر عنها بدلالة الأبعاد: طول[L]، زمن[T]، وكتلة [M] أو مزيج من هؤلاء. إنها استدلال من الأبعاد التى تميز ظاهرة فيزيائية إلى الأبعاد التى تدعو الحاجة إليها لوصف سببها والعكس صحيح. فى حالة تشتت "رذرفورد"، تكون الظاهرة هى معادلة "رذرفورد" ويكون سببها الشحنة النقطية أو جهد "كولوم". والظاهرة لها أبعاد المساحة، L^2. وكمية عديمة الأبعاد تأتى منها بالضرب فى $(E/\hbar c)^2$ التى يتبين أن لها الأبعاد L^{-2}. والكمية عديمة الأبعاد التى يتم الحصول عليها بهذه الطريقة لا تعتمد على أى طول ولا على طاقة التشتت للجسيمات المسبارة[2].

و"لا متغيرة" المقياس هى بالتحديد تلك الخاصية الأساسية من الاستقلالية عن الطول وطاقة التشتت. إنها خاصة أساسية لمقطع "رذرفورد". فالكمية عديمة الأبعاد التى نتجت من مقطع "رذرفورد" تعتمد فقط على الزاوية θ. والمقطع التفاضلى الذى تم حسابه من شحنة لا نقطية تقليدية ليس لها هذه الخاصة الأساسية. وإذا تم جعلها عديمة الأبعاد بضربها فى $(E/\hbar c)^2$ فالكمية التى نحصل عليها لا تعتمد فقط علىθ. وتحليل الأبعاد يظهر بالإضافة إلى احتوائه على معامل عديم الأبعاد يتغير بتغير طاقة

---

(١) إنها مبنية على النظرية المسماة π. انظر الملحق (ب). والتركيب الجبرى الذى يكمن وراء التحليل البعدى قد تم بحثه فى المرجع .**Carnap 1947** الباب العاشر.

(٢) للتفاصيل انظر الملحقين (ب) و(د).

مكتبة الفكر الجديد

الحركة E ويعتمد على الطول الكامن، R، الذى يجب أن يرجع إلى مركز التشتيت أو الجسيمات المسبارة[1].

طبقًا لهذا المنطق، فإن الكمية عديمة الأبعاد الناتجة من مقطع مقاس يبين ما إذا كانت الجسيمات المشتتة نقطية أم لا. ففى حالة الجسيمات المسبارة النقطية، فإن "لا متغيرة" المقياس تبين مركز تشتيت نقطى. بينما يبين انتهاك المقياس مركز تشتيت لا نقطى. إن "لا متغيرة" المقياس للمقطع عديم الأبعاد ونقطية الجسيمات المشتتة مترادفان. ففى نموذج تشتت "رذرفورد" التقليدى تكون "لا متغيرة" مقياس المقطع عديم الأبعاد هى شرط لازم وكاف لنقطية الجسيمات المسبارة ومركز التشتيت. إن الجسيمات المشتتة تتفاعل بنمط نقطّى فقط إذا كانت الكمية الناتجة من المقطع التفاضلى المقاس طبقًا للمعادلة (٣-٤) لا تعتمد على طاقة التشتت.

في إطار تفسير المُوجه المُساعد "للا متغيرة" المقياس، يميل الفيزيائيون إلى القول: إن الجسيمات المسبارة لا ترى أى تركيب فراغىّ عند طاقة تشتت معينة. وبمنهج أكثر إحكاما، فعلى الفرد أن يقرّ بأنه فى حالة "لا متغيرة" المقياس فالمقطع المقاس ليس له أى أثر يمكن تعليله بوجود مركز تشتيت لا نقطى. على أي حال، هذا النهج مبنىّ على الكثير من المعالجات المثالية. وبالطبع فإن التكافؤ بين "لا متغيرة" المقياس للمقطع ونقطية جسيمات التشتيت ممكن بذلك. فهو يصلح فقط فى نموذج لا يأخذ فى اعتباره عوامل أخرى ذات صلة بالتشتت قد تسبب انتهاكًا للمقياس أو ما شابه، فضلاً عن صلاحيتها فقط فى نموذج "رذرفورد" التقليدى للتشتت. إن كل التفكير الذى تم تصويره أعلاه قائم على مقياس تقليدى لكميات فيزيائية. وعلى الفرد

---

(١) انظر الملحق (د).

مكتبة الفكر الجديد

أن يسأل كيف أن طريقة تحليل الأبعاد ومفهوم "لا متغيرة" المقياس أو النقطية يمكن تمديدها إلى ميكانيكا الكمّ للتشتت.

٤-٣ شبيه النقطية فى النطاق الكمى

فى نهاية الستينيات من القرن العشرين تم تعميم مفهوم "لا متغيرة" المقياس ليشمل عمليات التشتت فى فيزياء الجسيمات فى الطاقة العالية. ففى النموذج التقليدى، مسموح فى الواقع بالولوج من المقطع المقاس إلى التركيب الفراغى للجسيمات الداخلة فى التشتت. وفى الطاقات العالية والعالية جدًّا المشار إليها سابقًا، وفى جدل إشكاليّ مضاد للحقائق، يأخذ هذا الاستدلال المعنى الآتى: إن وابلاً ذات طاقة عالية أو طول موجى متناقص لـ"دى برولى" يتفاعل مع مركز التشتت بطريقة ليس فيها ما يسبب وجود تأثير للطول فى المقطع المقاس.

هذا الجدل ينسجم مع التفسير الكلاسيكى للتركيب الفراغى لمركز تشتت وميكانيكا الكم للتشتت والذى طبقًا له تحيد الجسيمات المشحونة فى الوابل، كما لو كانت موجات، فى عملية تشتت. وما هذا إلا الانفصام الكمّى، المعتاد، العامل فى ممارسة الفيزياء. وهناك تعايش سلمى بين زعماء التجريبيين والنظريين إزاء تضارب صورتى الجسيم والموجة. إن الفيزيائيين العصريين يعتقدون فى ازدواجية الموجة والجسيم. وطبقًا لبديهيتهم الفيزيائية هذه فالميكانيكا الكلاسيكية تستبعد أن تكمّل صورة أحدهما الآخر[١]. وعلى

(١) هذا النوع من الانفصام الكمى يتبع خطوط قاعدة "بور" للتتامية. وفى أغلب الحالات يتم استخدامها بتحفظ، فى نظرة غير متجانسة لظاهرة فيزياء الجسيمات، انظر الباب القادم. وفى آخر باب من هذا الكتاب نتناولها صراحة.

مكتبة الفكر الجديد

أي حال، فلن يتحقق التعايش السلمى للصور الكلاسيكية (النماذج) للجسيم والموجة ما لم يكن هناك تناظر بين الصورتين. وهذا التناظر محسوم طبقًا لمفهوم "لا متغيرة" المقياس.

هناك فرق جوهرىّ بين الموقع الكلاسيكى للميكانيكا وميكانيكا الكمّ بالنسبة إلى التشتت وهو وجود أو عدم وجود مسار للجسيم. وفى نموذج ميكانيكا الكم للتشتت فعلى تحليل الأبعاد أن يتم دون وجود متغير التصادم b لمسار جسيم. عندئذ فقط يمكن ترحيل نتائج تحليل الأبعاد لميكانيكا الكمّ فى التشتت. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن يبقى مركز التشتيت كما هو فى ميكانيكا الكمّ فى التشتت. بمعنى أنه يجب أن يكون هناك تناظر بين التشتت التقليدى والكمى عند جهد "كولوم". هذا هو الحال حقًا. وبالمصادفة فقد أعطت حسابات ميكانيكا الكم والحسابات الكلاسيكية النتائج نفسها. كلا الحسابين أدّى إلى معادلة "رذرفورد"(١).

فبفرض وجود هذا التناظر، يصبح تحليل الأبعاد للمقطع صحيحة فى ميكانيكا الكمّ فى التشتت. وبذلك تبقى كطريقة لما وراء النظرية لتحليل بيانات تجارب تشتت لما دون الذرة.

---

(١) يتم الحصول على مقطع "رذرفورد" بالتأكيد فى ميكانيكا الكم للتشتت من الحل التام لمعادلة "شرودنجر" لجهد "كولومب"، كما يتم ذلك من تقريب "بورن" لجهد محجوب. انظر المرجع Born 1926c. و Hermann 1962 و Mott & Massey 1965. والسبب هو الفرض المسبق أن جهد "كولومب" يستوفى الشرط المشار إليه فى المرجع Born 1926c. للسلوك نصف الكلاسيكى لوابل جسيمات فى مجال خارجى. وهو يؤدى حقًا إلى وصف نصف تقليدى لنواة الذرة، انظر إلى تعريف معاملات الشكل الكلاسيكية المشروحة فى الفقرة ٤-٣-١.

مكتبة الفكر الجديد

إن تحليل الأبعاد ينطبق ليس فقط على تشتت "رذرفورد" التقليدى بل على كل النماذج النظرية لعملية تشتت متميزة بالكميات الفيزيائية لهذا النموذج (ماعدا متغير الصدام). وينطبق الشيء نفسه على "لا متغيرة" المقياس. إن "لا متغيرة" المقياس لمقطع عديم الأبعاد، يكافئ النقطية للجسيمات المشتتة، فى كل مراتب النماذج التى لها طاقة E وتعددية Z و′Z لشحنة عامة للجسيمات المشتتة. وثابت الاقتران عديم الأبعاد α المميز لنوع التفاعل أو الديناميكية الداخلة فى التشتت. وبناء عليه فإن مفهوم "لا متغيرة" المقياس ليس مقيدًا لا للنماذج التقليدية لعملية تشتت ولا لنماذج التفاعلات الكهرومغناطيسية.

وفى إطار مناسب فالتفسير النظرى لمقطع مقاس وفقًا للمصطلحات المذكورة قد تم تعميمه ليصل إلى ميكانيكا الكم النسبوية للتشتت[1]. وبذلك، فالجدل الذى بسببه يقترح "لا متغيرة" المقياس عديم الأبعاد أن الجسيمات النقطية الداخلة فى التشتت يمكن ترحيلها إلى الحالة النسبوية. وقد طبقت أيضًا فى نتائج تجارب تشتت ذات طاقة عالية عام ١٩٦٨، حينما اعتبرت "لا متغيرة" المقياس دليلاً على البنية النقطية داخل البروتون والنيوترون[2].

وعلى أي حال ففى نطاق نظرية الكم، على الفرد أن يكون أكثر تحفظًا. فطبقًا للتحليل البعدى تشير "لا متغيرة" المقياس إلى غياب التركيب الموصوف بالطول. ودون فروض إضافية توصّف نموذج عملية التشتت،

---

(١) يختار الفرد محور الإسناد الذى تختفى فيه مركبة الطاقة فى كمية الحركة المنتقلة الرباعية (نظام "برايت"، انظر المرجع .**Breit and Whealer1934**).

(٢) المرجع .**Riodan 1987** .

مكتبة الفكر الجديد

فلن يعنى هذا شيئًا، ولكن ما يقوله هنا هو "اللا تركيبية". أما مفهوم اللا نقطية فهو أكثر تحديدًا. إنه يعطى الانطباع بالموضعية. إنه مبنى على الفرض قريب الارتباط بمفهوم الجسيم السببى غير الرسمى الذى تمت مناقشته فى الباب السابق، وهو أن التفاعل بين الجسيمات المشتتة موضعىّ. وقد يميل الفرد إلى البحث عن مواصفات نموذجية مستقلة لتفسير "لا متغيرة" المقياس بدلالة التشتت النقطى أو تأثير مركز تشتيت مهمل الحجم. وقد كان ملمح الارتداد الخلفى غير المتوقع الذى شوهد للمرة الأولى فى معمل "رذرفورد" هو هذه المواصفة إلا أنها كانت فى نموذج تقليدى للجسيم. وفى نطاق كمّى، فتفسير فراغىّ لتركيب نقطىّ أو لا نقطىّ يتأثر بالعديد من الشكوك؛ إذ إنه طبقًا لميكانيكا الكمّ للتشتت، تحيد الجسيمات المتناثرة كالموجة. ففى عملية تشتت، يكون للجسيمات طولان موجيان، هما طول موجى "دى برولى" والآخر طول موجى "كومبتون". وفى نظرية الكم النسبية، تحل المسافات المكانية اللحظية مكان الطول. وفى نطاق نظرية الكم للمجال فيما وراء تقريب "بورن"، يصبح المعنى الفيزيائى لفرض الموضعية المستتر فى مفهوم النقطية موضع شك هو الآخر[1].

إن مفهوم اللا نقطية ينبع من نموذج "رذرفورد" التقليدى للتشتت. لقد كان مرتبطًا بمفهوم "لا متغيرة" المقياس المبنىّ على التحليل البعدىّ. إن التحليل البعدىّ هو طريقة ما وراء النظرية التى تعتقد فى وحدة الفيزياء. وتبين ميكانيكا الكم أن هذه الوحدة لم تعد من المسلّمات. إننا لسنا ملزمين بالاعتقاد فى الواقعية الفيزيائية بدقة تقليدية، أو بتركيب موضعى؛ بل إن

---

(١) انظر التعريف المعمم لمعاملات الشكل التى نوقشت فى الفقرة (٤-٣-٢).

مكتبة الفكر الجديد

العكس هو الصحيح، فى الحقيقة. ولذلك، فعلى الفرد أن يكون حريصًا تمامًا فى التفسير الحرفىّ لمفهوم النقطية الذى يتناوله باحثو فيزياء الجسيمات. ومن وجهة النظر الحسّاسة المتبناة هنا، فالنقطية هى خاصية للجسيم تنتمى إلى البنية شبه الكلاسيكية لواقعية ما دون الذرة. بمعنى آخر، ففيزياء الجسيمات تسعى لبناء نتائج تجارب التشتت فى الطاقة العالية بدلالة النقطية. وكلما ارتفعت طاقة التشتت، ازدادت إشكالية هذا التشييد، كما سيظهر فيما يلى. فالانحرافات عن سلوك تشتت نقطى؛ أى "لا متغيرة" المقياس، يعتبر تركيبات لا نقطية. هذه التركيبات توصف بدلالة معاملات الشكل النسبوية وغير النسبوية. وكلما ارتفعت الطاقة، على أى حال، زادت صعوبة تفسير معاملات الشكل حرفيًا.

٤-٣-١ معامل الشكل التقليدى

فى نموذج "رذرفورد" للذرة، تكون نواة الذرة هى شحنة نقطية تقليدية تولّد جهد "كولوم". هذا النموذج لنواة الذرة هو أيضًا الأساس فى وصف النواة كتركيب لا نقطى من حيث معاملات الشكل. وفى النموذج التقليدى للتشتت، فعدم التركيبية يعنى نقطيّة. وعلى النقيض، فانتهاكات المقياس للمقطع عديم الأبعاد يشير إلى تركيب داخلىّ لمركز التشتت. وهذا التركيب يوصف بتمديد التوزيع الشحنىّ $\rho(r)$ بدلاً من شحنة نقطية. فقد وجد "رذرفورد" بداية حيودات عن معادلته للتشتت فى عام ١٩١٩، عندما أجرى

مكتبة الفكر الجديد

تجارب تناثر بجسيمات ألفا وبالهيدروجين[1]؛ حيث أرجع ذلك في نموذجه التقليدى إلى ما يشير إلى وجود تأثيرات قوى نووية. وحيث إن معادلة "رذرفورد" التقليدية من الممكن أن تستنتج من ميكانيكا الكم غير النسبوية، فإن التفسير التقليدى لتوزيع شحنىّ ممتدّ بدلالة معاملات الشكل قد تم ترحيله إلى ميكانيكا الكم[2]. إن النموذج التقليدى لنواة الذرة كتوزيع شحنى قد أظهر ثباتًا بشكل مذهل عند التحول إلى ميكانيكا الكم. وعلى الرغم من أن ميكانيكا الكم لا تسمح بتفسير مكانىّ لمقطع فعّال، فإنها تسمح بتعريف محدد لما هو مركز تشتيت، نقطى أو لا نقطى. وفى الحالة غير النسبوية، فمركز التشتيت الذى يعتبر نقطيًّا فقط أدى إلى مقطع تفاضلى "لرذرفورد" فى حال تشتت جسيمات مشحونة.

فى النموذج التقليدى للتشتت، ترجع ظاهرة الارتداد الخلفى إلى مركز تشتيت غير قابل للاختراق لجسيمات مشتتة عند معامل صدام صغير. وفى ميكانيكا الكم توصف الجسيمات المتناثرة بموجات، ويكون السلوك التشتتى (بما فيه الارتداد الخلفى) ما هو إلا ظاهرة حيود. ويتصادف أن تعطى معادلة الحركة التوزيع الزاوىّ نفسه فى نموذجى الجسيم والموجة لتشتت "كولوم". ففى جهد "كولوم"، يتساوى المقطعان.

وفى كلا الحالين، التقليدى والكمىّ، يتم وصف مركز التشتيت بدلالة جهد كهربى ساكن ثابت. تلك صورة تقليدية لمركز تشتيت. فهو يوصف بدلالة كهربية ساكنة تقليدية. ومن المفترض فى ميكانيكا الكم، أن يعنى هذا

---

(١) انظر المرجع .Pais 1986 ص٢٣٧-٢٤٠.

(٢) انظر الملحوظة ١٩ عاليه.

مكتبة الفكر الجديد

أن مركز التشتيت موضعيّ. وبمعنى دقيق، فهذا الوصف يقود إلى نموذج نصف تقليدى للتشتت. وبينما توصف الجسيمات المسبارة بدلالة دالة موجية لميكانيكا الكم Ψ ، فإن مركز التشتيت لا يوصف كذلك؛ إذ إنه يوصف إما كشحنة نقطية أو كتوزيع شحنى نصف تقليدى ممتد. وفى الحالة الأخيرة، لا يكون المقطع التفاضلى ثابت المقياس. وتصاغ حيوداته عن معادلة "رذرفورد" بدلالة معامل شكل. والتعريف التقليدى لمعامل الشكل هو كما يلى. فى الكهربية الساكنة التقليدية، يوصف توزيع شحنى بواسطة كثافة شحنة $\rho(r)$ [1]. وتوزيع شحنى فى النموذج التقليدى فالتوزيع الشحنى قد يمكن فهمه إما على أنها كثافة شحنة متصلة أو على أنها كثافة احتمالية لمواضع شحنات نقطية منفصلة. والكمية $\rho(r)$ تولد الجهد الكهربى الساكن $V(r)$:

$$V(r) = C \int \frac{\rho(r')dr'}{|r - r'|} \qquad (4.4)$$

وهنا $C = ZZ'\alpha\hbar c$ معطاة بدلالة عددى شحنة Z و Z' وثابت الاقتران α والثابتين $\hbar$ و c. فى النموذج التقليدى، يمكن كتابة $\hbar c\alpha$ بدلالة وحدات الكهربية الديناميكية التقليدية. وفى نموذج ميكانيكا الكم، من المفترض أن مركز التشتيت المشحون يوصف بدالة موجية $\Psi(r)$ تؤدى إلى توزيع شحنى شبه تقليدى $\rho(r)$ متسقًا مع التفسير المعتاد لميكانيكا الكم:

$$\rho(r) = |(r)\Psi|^2 \qquad (4.5)$$

---

(١) هنا فى الآتى تكون الإسهامات غير القطرية $\rho(r)$ والجهد $V(r)$ مخفيين بصفة عامة. وعندما يظهران فى اللعبة يعبر عن ذلك بالتمثيل الاتجاهى $\rho(r)$ و $V(r)$ على التوالى.

مكتبة الفكر الجديد

وباستخدام المعادلة (4.4)، يؤدى هذا التفسير إلى جهد $V(r)$ ، يصاغ جزئيًا بدلالة مفهوم تقليدى وجزئيًا بدلالة دالة موجية لميكانيكا الكم. وتتجاوز المعادلة (4.5) التفسير الاحتمالى المعتاد لميكانيكا الكم. فهى مبنية على زعم يضاد الحقيقة فى أن الدالة الموجية لميكانيكا الكم لمركز تشتيت يؤدى إلى كثافة احتمالية $\rho(r)$ فى حالة قياسات مواضع متعددة فى حيّز مركز التشتيت. وفى الحقيقة، فإن وصف مركز التشتيت قد بنى على إصدار عمومى لمبدأ مقابلة "بور" التى ستناقش فى الباب الخامس. وبهذه الطريقة يصبح من الممكن إعطاء وصف ميكانيكى كمّى متماسك لتشتت الجسيمات المشحونة على نظام يوصف بدلالة دوال موجية – ميكانيكية – كمّية لجسيمات عديدة. ولجهد "كولوم" $V(r) = C/r$ ، تختزل كثافة الشحنة إلى دالة دلتا "ديراك"، $\delta(r) \equiv \rho(r)$. ولتوزيع شحنى ممتد، يصبح الحل الدقيق لمعادلة "شرودنجر" غير ممكن فى ميكانيكا الكم للتشتت. وفى تقريب "بورن" يعطى الجهد فى المعادلة (4.4) المقطع التفاضلى التالى[1]:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\pi^2 C^2}{E^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}} \int \rho(r) \frac{\sin(qr)}{q} r dr \qquad (4.6)$$

---

(١) المرجع Mott & Massey 1965. يجب إضافة تحذيرين هنا. الأول أن تقريب "بورن" يفشل جهد "كولومب"؛ حيث إنه يصلح فقط فى الجهود التى تتناقص أسرع من (1/r). على أى حال فالحل التام يختلف فقط عن الطور التخيلى الذى لا يغير المقطع. الثانى هو أن التشتت عند جهد "دلتا" يؤدى إلى مقطع صفرى. كل من النقطتين يبين أن التفسير الحرفى للحسابات هو إشكالى. ولاحظ أنهما لا تؤثران فى عبارتى العامة عن شبيه النقطة والموضعية.

مكتبة الفكر الجديد

qهنا هى كمية الحركة المنقولة من الجسيمات المسبارة لمركز التشتيت. وهى ترتبط بكمية الحركة p وطاقة الحركة E للجسيمات المسبارة وزاوية التشتت، كما يلى:

$$q = 2|p|\sin\frac{\theta}{2} = 2\sqrt{2\mathrm{Em}}\sin\frac{\theta}{2} \qquad (4.7)$$

وبمقارنة المعادلة (4.6) بمعادلة "رذرفورد" للمقطع (4.1) (المسماة $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R$ فيما يلى) يتبين أن $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ و $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R$ منطبقتان حتى يعتمد معامل شكل F(q) فقط على كمية حركة منقولة q:

$$\mathrm{F(q)} = \frac{4\pi}{\mathrm{q}}\int \rho(\mathrm{r})\sin(\mathrm{qr})\,\mathrm{rdr} \qquad (4.8)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \mathrm{R}\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\mathrm{R}}|\mathrm{F(q)}|^2 \qquad (4.9)$$

طبقا للمعادلة (4.8) فمعامل الشكل F(q) هو تحول "فوريير" للتوزيع الشحنى ρ(r)، والأسلوب الذى يعتمد به على كمية الحركة المنقولة q هو مقياس التكوين المكانى للشحنة المركزية اللا نقطية التقليدية، بقدر ما كان هذا التفاعل كهرومغناطيسيًا.

وطبقًا للمعادلتين (4.7) و(4.9) فمعامل الشكل F(q) يعتمد على طاقة الحركة E وزاوية التشتت θ ، مما يؤدى إلى انتهاك المقياس لمقطع "رذرفورد" الذى أصبح عديم الأبعاد بالضرب فى $(E/\hbar c)^2$:

مكتبة الفكر الجديد

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E/\hbar c)^2 = \frac{(ZZ'\alpha)^2}{sin^4\frac{\theta}{2}}|F(q)|^2 (4.1.)$$

وفى جهد "كولوم" لتوزيع شحنة نقطى $\delta(r)\equiv\rho(r)$، يختزل معامل الشكل إلى الواحد الصحيح، مما يؤدى مرة أخرى إلى مقطع "رذرفورد" ثابت المقياس:

$$F(q)_R \equiv (4.11) \quad 1$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R (E/\hbar c)^2 = \frac{(ZZ'\alpha)^2}{16sin^4\frac{\theta}{2}} (4.12)$$

وبهذه الطريقة يكون التكافؤ بين اللا تركيب و"لا متغيرة" المقياس الذى تنبأ به التحليل البعدى قد عاد كما هو. فى النموذج التقليدى؛ حيث يوصف تركيب مركز التشتيت بدلالة معامل الشكل، فعدم التركيب والتوزيع الشحنى المكانى$\rho(r)$ متكافئان، بينما يعنى اللا تركيب، اللا نقطية. وطبقًا لهذا النموذج التقليدى لمركز التشتيت، فالتوزيع الشحنى $\rho(r)$، يمكن الحصول عليه من قياس المقطع التفاضلى ومن معادلة "رذرفورد"، طبقًا للمعادلتين (4.8) و(4.9). فطبقا للمعادلة (4.8)، يكون معامل الشكل F(q) مقدارًا تجريبيًّا يأتى من تطبيع مقطع مقاس $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Exp}$ بمقطع نظرى $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R$ لمركز تشتيت نقطى:

مكتبة الفكر الجديد

$$\left|F(q)_{Exp}\right|^2 = \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Exp}}{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{R}} \quad (4.13)$$

وطبقًا للمعادلة (4.7) نحصل على التوزيع الشحنى القطرى بقياس معامل الشكل $F(q)_{Exp}$ بواسطة تحول "فوريير":

$$\rho(r) = \frac{1}{2\pi^2 r}\int F(q)_{Exp}\, q \sin(rq)\, dq \qquad (4.14)$$

طبقًا للمعادلتين (4.13)و(4.14)، فممكن قياس التوزيع الشحنى القطرى للقشرة الإلكترونية للذرة فى الفيزياء الذرية. وقد تم عمل ذلك بحيود الإلكترونات منخفضة الطاقة وأشعة إكس. بينما تم بحث تركيب النواة بتجارب تشتيت عند طاقات أعلى من ذلك بكثير[1].

وكان لزامًا تحديد معاملات الشكل فى هذه التجارب ضمن حدود نظرية الكم النسبية للتشتت.

---

(١) انظر الفقرة (٤-٥)، حيث القاعدة الحاسمة فى زيادة طاقة التشتت بغية الحصول على تمييز فراغى أفضل يتم تفسيره فى النهاية.

مكتبة الفكر الجديد

٤-٣-٢ تعميمات نسبوية

لقد بنيت العلاقة بين "لا متغيرة" المقياس واللا تركيب على حجج بعديّة عامة. وعلى النقيض من ذلك، فالتعريف المذكور سابقا عن النقطية واللا نقطية هو يعتمد على النموذج المستخدم. إنه يعتمد على الوصف التقليدى لمركز التشتيت من خلال التوزيع الشحنى الموضعى، والجهد الثابت وما يؤدى إليه من معامل شكل.

على أي حال، فقد تم تعميم "لا متغيرة" المقياس واللا نقطية حتى نطاق النسبوية كما حدث لمفهوم انتهاك المقياس ومعاملات الشكل؛ حيث إن هذه التعميمات فاصلة فى تطوير فيزياء الجسيمات فى الخمسينيات وفى أواخر الستينيات من القرن العشرين. ففى الخمسينيات قام "هوفستادر" ومجموعته فى جامعة "ستانفورد" بقياس معاملات الشكل لأنوية الذرات عند طاقات تتجاوز الطاقات التى عمل عندها "رذرفورد". وقد حددوا معاملات الشكل لأنواع عديدة من أنوية الذرات. وعلى أى حال، فقد ذاع صيت التجارب التى قاموا بإجرائها لسبر أغوار تركيب البروتون والنيوترون[١]. لقد أظهرت هذه التجارب أن التركيب الكهرومغناطيسىّ للنويدات من الممكن أن يعبّر عنها بدلالة معاملى شكل يصوران حيودات عن التشتت النقطىّ. تعلقت الأولى بالشحنات ١ و صفر للبروتون والنيوترون، على التوالى. وتعلق الثانى بالعزم المغناطيسى للنويدات، شارحة بذلك العزم المغناطيسى الشاذ[٢].

---

(1) Hofstadter 1956., 1958 & 1989

(٢) المرجعان Rosenbluth 1950. &Hofstadter 1958.

مكتبة الفكر الجديد

وفى عام ١٩٦٨، حدث اكتشاف يشبه اكتشاف "رذرفورد". ففى إحدى تجارب التشتت التى تم إجراؤها فى معجّل "ستانفورد" الخطّى المسمى "SLAC" تمت مشاهدة وقياس تشتيتات عند زوايا كبيرة واتضح أن المقطع الكلى ثابت المقياس. وقد فسر كل من "بوركن" و"فينمن" "لا متغيرة" هذا المقياس بأنه مؤشر تجريبىّ على وجود مكونات دقائقية للنويد النقطى. وبعد إجراء المزيد من التجارب من النوع ذاته، وبعد تجميع المزيد من الأدلة، تم تحديد هوية البارتونات على أنها الكواركات، تلك هى كسور الشحنة فى نموذج الكوارك الذى أسس عام ١٩٦٣[١].

ومن أجل تفسير تلك التجارب التى أجريت فى الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين، فقد تم تعميم نموذج "رذرفورد" ومفهوم معاملات الشكل حتى نظرية الكم النسبوية كما يلى. ففى ميكانيكا الكم النسبوية، يتم وصف الجسيمات المتناثرة المسبارة بمعادلة "ديراك" بدلاً من معادلة "شرودنجر". والرابطة بالوصف غير النسبوى للتشتت تتوطد من خلال وصف التشتت فى محاور إسناد مناسبة. فلتختر محاور "برايت" التى تختفى فيها مركّبة الطاقة فى كمية الحركة المنتقلة الأربعة النسبوية[٢]. فمركز التشتيت فى هذا الإطار يتم أمثلتها بجهد V(r) يمكن إدخال توريع شحنى مكانىّ $\rho(r)$ فيه. وكتقريب

---

(١) للتفاصيل التاريخية فى هذه القصة المريعة للاكتشاف غير المتوقع وتفسيره انظر: المرجع:

Riodan 1987. الأبواب 8-6 و تقرير النتائج العملية فى المرجع :

Panofsky 1968. والمقالات الأصلية فى التفسير النظرى فى المراجع:

Bjorken 1969.,Bjorken and Paschos 1969.,Bjorken 1970. &Feynmann 1969.

(٢) المراجع Nactmann 1990. و Breit and Whealer1934.

مكتبة الفكر الجديد

فى البداية، يتم وصفه بجهد "كولوم" ثابت؛ بمعنى أنه ثقيل جدًّا ولكنه نواة ذرية نقطية. وقد شمل هنا معالجتين نموذجيتين: أ-الكتلة المسماة اللا متناهية التقريبية التى طبقًا لها تهمل كتلة الجسيم المسبار m بالنسبة إلى كتلة مركز التشتيت M (أى أن m<<M أو أن M→∞) و ب- فرض أن مركز التشتيت هو نقطىّ. ومن الواضح أن هذين الفرضين فى الحقيقة لا يجتمعان.هما ينتجان نموذجًا بسيطًا ولكنه غير واقعى لتشتت. وفى تقريبية "بورن"، يحصل الفرد على صيغة بسيطة للمقطع التفاضلى، وهو معادلة "موت" للتشتت[1]. ويقابل مقطع "موت" تشتت "رذرفورد" التقليدى على النحو الآتى. فللجسيمات المسبارة منخفضة الطاقة (v<<c) أو($2E<<c^2$)، تؤول إلى مقطع "رذرفورد". وللجسيمات عالية الطاقة، على أي حال، فالكميات اللا بعدية التى يتم الحصول عليها تكون، مرة أخرى، ثابتة المقياس.

ويمضى التعميم الثانى من الأنوية الثقيلة إلى أخف النوية، البروتون. ويوصف التشتت للمرة الثانية بدلالة سلوك نموذجى غير واقعى. فقد بنى النموذج على ما يسمى "بروتون ديراك"؛ أى بروتون نقطى دون عزم مغناطيسى شاذ وهو الخاضع لمعادلة "ديراك". (إن وجود عزم مغناطيسى شاذ يدل على وجود تركيب داخلى للبروتون. وهو ما يتم إهماله فى هذا النموذج. ومن المفترض أن يسلك البروتون سلوك البوزيترون الثقيل). وفى تقريب "بورن"، تنتج الحسابات صياغة أكثر تعقيدًا للمقطع التفاضلى. على أي حال، هى ثابتة المقياس مثل معادلات تشتت "موت" و"رذرفورد".

---

(١) المراجع Perkins 2000. و Itzykson and zuber 1985. و Nactmann 1990. وللآتى انظر النظرة العامة الممتازة فى المرجع: Povh et al. 1999. ص٤٣-١١١.

مكتبة الفكر الجديد

إنها تؤول إلى معادلة "موت" للتشتت فـــى حالـــة الكتلـــة الـــصغيرة للجسيمات المسبارة ($m<<m_{proton}$) [1].

إن كلاً من المعادلتين اللتين تم حسابهما فى ميكانيكا الكم النسبية تمثل تعميمات لمعادلة "رذرفورد". ويشترك معها معادلات أساسية من "لا متغيرة" المقياس. وتحت ظروف تقريبية واضحة المعالم، فإنهما يؤولان إليها كحدود تقليدية غير نسبوية. وفى المقابل، فإن كلاً من المعادلتين يمكن أن يدخل بديلاً من $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_R$ فى المعادلة (4.13). وبناء على ذلك، أدخلـت معـاملات الشكل فى نماذج التشتت. وإدخال معامل الشكل يلغى المعالجات المثالية فى وصف مركز التشتيت. وعلى أي حال، فإن إلغاء المثالية هـذا يـدفع ثمـن إدخال التوزيع الشحنى التقليدى إلى ميكانيكا الكم النـسبوية فـى التـشتت. فالنموذج الناتج للتشتت هو نصف تقليدى بشكل جلىّ. (هذا الثمن هو ما كان يجب أن يدفع لحفظ التوافق مع نموذج "رذرفورد" التقليدىّ). هذا النهج شبه التقليدى جعل قياس معاملات الشكل ممكناً فى تجارب التشتت ذات الطاقات العالية التى أجريت على الجسيمات ذات الطاقات النسبية. ولقد اتخـذ مـن اعتماد معاملات الشكل على كمية الحركة المنقولة الأربـع q دلـيلاً علـى اللا نقطية الجسيمات المشتتة:

$$\left|F(q)_{Exp}\right|^2 = \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Exp}}{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{RQM}} \quad (4.15)$$

---

(1) Bjorken and Drell 1964, Chap. 7.4.

مكتبة الفكر الجديد

والحد $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\mathrm{RQM}}$ هنا، هو مقطع تفاضلى محسوب فى ميكانيكا الكم النسبوية من معادلة "ديراك". إنها تمثل تشتت جسيمات مسبارة قيمة مغزلها ½ على مركز تشتيت ممثل بأى جهد كهرومغناطيسى. وترسى المعادلتان (4.14)و(4.15) الأسس النظرية لتجارب التشتت التى قاس فيها "هوفشتادر" ومجموعته معاملات الشكل وما تعلق بها من توزيعات شحنية للعديد من أنوية الذرات فى "ستانفورد" فى الخمسينيات[1]. وقد ذاع صيت التجارب التى سبرت أغوار التركيب الكهرومغناطيسى للبروتون والنيوترون. لقد أظهروا فى هذه التجارب أن التركيب الكهرومغناطيسىّ للبروتون والنيوترون من الممكن أن يعبر عنه بدلالة معاملى شكل يصوران حيودات عن التشتت النقطىّ، فى توافق مع العزمين المغناطسيين الشاذين لهما. فيرتبط معامل الشكل الأول بالشحنة والثانى بالعزم المغناطيسى[2]. وقد كانت بداية تحديد معاملات الشكل الكهرومغناطيسية للنويدات بعلم الظواهر طبقًا لمعادلة من النوع رقم (4.15) ، من علاقة مقطع مقاس ومقطع محسوب لجسيمات مشحونة نقطية. ومعاملات الشكل المقاسة بهذه الطريقة هى كميات شبه تقليدية. إنها تظهر إلى أى مدى تحيد التركيبات المقاسة عن العزم المغناطيسى التقليدى. ففى نموذج شبه تقليدى للتشتت، تتعلق بالتوزيع الشحنى الكهربى وكثافة العزم المغناطيسى للبروتون أو النيوترون[3].

---

(1) Hofstadter 1956, Hofstadter et al. 1958, Hofstadter 1989.

(٢) المرجعان Rosenbluth 1950. و Hofstadter 1958.

(٣) لقد سبق تاريخيًا الولوج الظواهرى الفهم النظرى لهذه الكميات إلى معاملات الشكل أيضًا. لقد أعطى التفسير الفيزيائى لمعاملات الشكل الكهرومغناطيسية للنويدات فى سياق ميكانيكا الكم النسبوية فقط بضع سنوات بعد القياس (المرجع Ernst et al. 1960.)

مكتبة الفكر الجديد

والخطوة التالية فى التعميم تستغنى عن النماذج نصف التقليدية. إنها خطوة من ميكانيكا الكم النسبوية إلى الكهروديناميكا الكمية، نظرية المجال الكمىّ للتفاعلات الكهرومغناطيسية. ففى نظرية المجال الكمىّ النسبوية، يكون من الممكن حقًّا أن نعطى تفسيرًا عامًّا محددًا غير معتمد على نموذج معامل الشكل للبروتون والنيوترون قد تم قياسه وفقًا للمعادلة (4.15).

ومن أجل استنتاج صيغة لمعاملات الأشكال مستقلة عن النموذج، فليبدأ الفرد من المبادئ العامة لنظرية المجال الكمىّ النسبوية، المسماة "لا متغيرة" "لورنس" و"لا متغيرة" المعيار وصلاحية معادلة "ديراك" للجسيمات ذات القيمة المغزلية ½. وبذلك يحصل الفرد على وصف عام جدًّا لعملية تشتت لم يتم تفصيلها خصيصى لتلائم الظروف التقليدية. ويتكون الوصف من حدين من "لا متغيرة" "لورنس". إنهما يعتمدان فقط على ("لا متغيرة" "لورنس") q^2، وهو مربع كمية الحركة المنقولة الأربع q. إنها من الممكن تحديدها بحدود معاملات الشكل التى حصلنا عليها طبقًا للمعادلة (4.15). وبهذه الطريقة يمكن التخلص من التبعية للنموذج والذى تم وضعه بداية لمعاملات الشكل. وهكذا، يصبح من الممكن تعريف ما الجسيمات النقطية فى تجربة تشتت دون فرضيات نصف تقليدية مسبقة، وذلك فى سياق نظرية المجال الكمىّ النسبوية[1]. إن التركيب الكهرومغناطيسى لجسيم مشتت اختيارى يوصف بدلالة معاملى شكل $F_1(q^2)$ و$F_2(q^2)$ ، اللذين يقابلان الشحنة والعزم المغناطيسى للجسيم المتشتت لكمية الحركة المنقولة الأربع q=0.

---

(١) المرجع Drell and Zachariasen 1961.

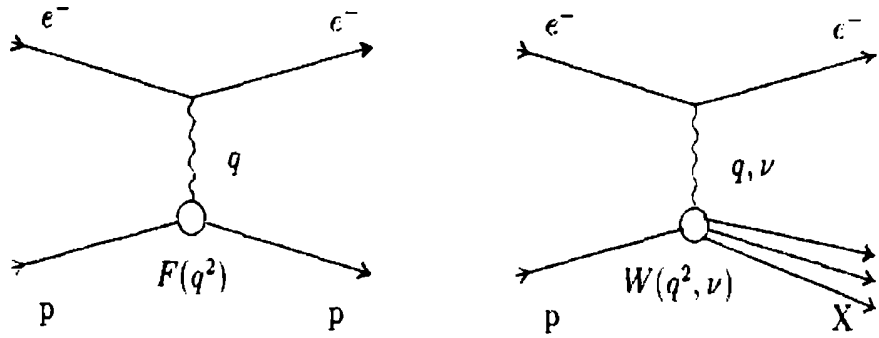
مكتبة الفكر الجديد

ويتضح أن الجسيم المتشتت يكون نقطيًّا فقط إذا كانت معاملات الشكل له ثوابت. إن له تركيبًا كهرومغناطيسيًّا فقط إذا كان معاملى الشكل له، $F_1(q^2)$ و $F_2(q^2)$ دالتين فى q^2.

فى عام ١٩٦٩، اقترح "بوركين" و"فينمن" تفسير "لا متغيرة" المقياس المكتشف فى تجارب التشتت عالية الطاقة بدلالة نويد مركب من دقائق نقطية. وكان هذا التفسير مرتبطًا بتعميم أبعد للتعريف النسبوى لمعاملات الشكل الكهرومغناطيسية. فى هذا الوقت تم تمديد النموذج ليصف عملية التشتت غير المرنة وفيها تنقل الجسيمات المسبارة طاقة لمركز التشتيت، مما يؤدى إلى حالة جسيمات مثارة وما يستتبعها من انحلالات بعمليات ثانوية مثل إشعاعات جاما أو إنتاج رزاز "هادرونى". وعلى النقيض من التشتت المرن (الذى يتميز بكمية الحركة المنقولة الرباعية q فقط)، يتميز أيضًا التشتت غير المرن من ناحية طاقة الإثارة υ التى تنقلها الجسيمات المسبارة إلى مركز التشتت، بالنسبة إلى طاقة الوابل E. ويمكن بيان عملية تشتت الإلكترون والبروتون بما يناظرها فى التمديد المضطرب لعملية التشتت فى تقريب "بورن" وذلك باستخدام رسم "فينمن" التوضيحى فى الشكل 4.2:[1].

(١) فى التشتت المرن وغير المرن للبيتون-نويد انظر المرجع .Perkins 2000 الصفحات ١٥٤-١٦٠.

مكتبة الفكر الجديد



الشكل (٤-٢): التشتت المرن وغير المرن للإلكترون والبروتون (q هي كمية الحركة المنقولة الرباعية و υ هي الطاقة النسبية المنقولة).

وطبقًا لنموذج الميكانيكا الكم لعملية التشتت، فالتشتت غير المرن يؤدى أيضًا الى رنينيات. وفى التشتت المذكور هنا، تكون الطاقة المنقولة لمركز التشتيت مرتفعة جدًّا. وعلى النقيض من تولد الرنينيات، فهى تسمى التشتت غير المرن الفائق. وللتشتت غير المرن للإلكترون – النويد، فالوصف الثابت الأكثر عمومية للتفاعلات الكهرومغناطسية يؤدى إلى معاملى شكل هما $W_2(q^2,\upsilon)$ و $W_1(q^2,\upsilon)$. فهى تعتمد على كميتين ثابتتين نسبيتين هما q^2 و υ؛ حيث قيست فى الستينيات. وبعد نتائج "هوفشتادر" العملية لمعاملات الشكل الكهرومغناطيسية، لم يتوقع أحد أن يجد "لا متغيرة" مقياس حقيقة، ولم يوجد أحد حتى ظهور تجارب "تايلور" الحالية ومجموعته فى SLAC.

وقد أعلنت النتائج المدهشة فى مؤتمر "فيينا" عام ١٩٦٨[١]. هذه التجربة، لعدة اعتبارات، هى تكرار لتجربة ١٩٠٩ التى دفعت نتائجها المذهلة "رذرفورد" أن يفترض وجود نواة للذرة وأن يحسب معادلته للتشتت.

---

(١) المرجعان Riodan 1987.Panofsky 1968.

مكتبة الفكر الجديد

وبعد تجارب قياس معاملات الشكل التى قام بهـا "هوفـشتادر" لكـل مـن البروتون والنيوترون، ساد الاعتقاد فى تركيب النويدات أنه متجانس تمامـا كالتوزيع المتجانس الموجب للذرة فى نموذج "طومسون" للذرة عام ١٩٠٩. وقد فرض "تايلور" ومجموعته أن النويدات تحتوى على توزيع شحنى ممتـد أكثر أو أقل. ولكم كانت دهشتهم، فقد تم دحض هذا الفرض فى نطاق مجال لم يتم التطرق إليه مسبقًا. وقد تمت الإشارة إلى هذا الاكتشاف ثانية بوجـود زوايا تشتت كبيرة شملت أيضًا الارتداد الخلفى غير المتوقع. وعلى أي حال فقد اختلف التفسير النظرى عن عام ١٩٠٩ . ففى هذه المرة كان افتـراض مراكز التشتيت النقطية مبررًا بواسطة نموذج نظرى تفصيلى حول مراكـز التشتيت. فهو كان بالأحرى مبنيًا على الاسـتدلال المـأخوذ مـن كميـات "لا متغيرة" المقياس اللا بعدى حتى وجود اللا تركيـب أو نقطيـة مراكـز التشتيت. تلك الكميات اللا بعدية التى نحن بصددها قد تم حسابها من المقطع المقاس، قد تساوت مع معاملى الشكل $W_1(q^2,\upsilon)$ و$W_2(q^2,\upsilon)$ للتـشتت غيـر المرن للإلكترون – النويد. هذان المعاملان يعتمـدان فقـط علـى كميـات "لورنس" الثابتة q^2 وυ. وبذلك فهما أيضًا كميتان ثابتتان من "لورنس" وقـد أعطى "بوركين" و"فينمن" التفسير النظرى من حيث "لا متغيرة" مقياسهما. فقد اعتقدا أن كلاً من البروتون والنيوترون يتركب من دقائق شبيهة نقطيـة[١]. وهكذا اتخذت أولى الخطوات نحو البرهان التجريبى على وجود الـشحنات الكسرية، المسماة الكواركات، داخل النويدات. وبعد ذلك تم إجراء المزيد من

---

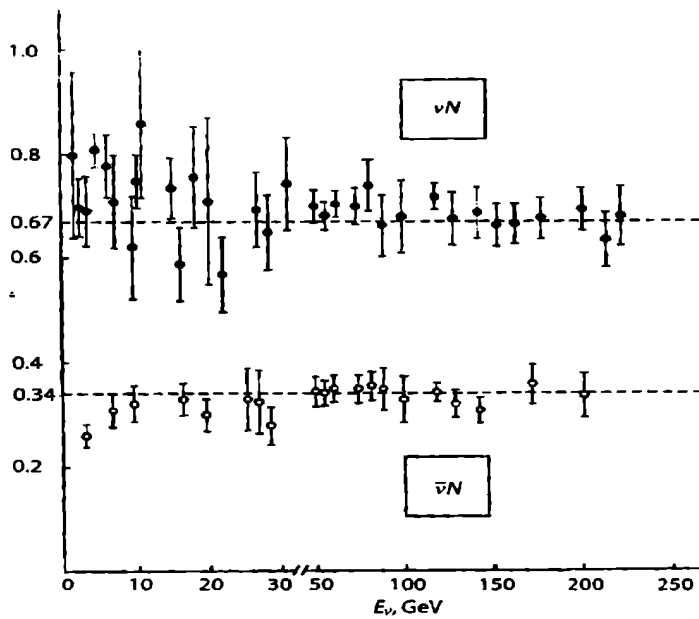
(١) المراجع:

Bjorken 1969.
Bjorken and Paschos 1969.
Riodan 1987.
Feynmann 1969.

مكتبة الفكر الجديد

تجارب تشتت على أنواع من الليبتونات – النويدات. وعلى وجه الخصوص، فقد أعيد إجراء تجارب التشتت البالغة فى عدم المرونة باستخدام الميونات والنيوترينات. (وقد تم الحصول على النيوتريات من تشتت وابل البروتونات على هدف بحيث تنتج جسيمات ثانوية عديدة يبقى منها فقط النيوتريات بعد مسافة انحلال معينة).

لهذه التجارب، تولد النموذج بعد ذلك من الكهروديناميكا الكمية حتى نظريات المجال الكمى للنموذج الحديث لفيزياء الجسيمات. ويحتوى النموذج الناتج على ثلاث مما يسمون دوال التركيب: $W_3(q^2,\upsilon)$ و $W_2(q^2,\upsilon)$ و $W_1(q^2,\upsilon)$.



الشكل(٣-٤). المقياس اللا متغير للتشتت غير المرن العميق للإلكترون-النيكيولون (Perkins 2000 ,163).

مكتبة الفكر الجديد

وقد تم تفسيرهم بدلالة توزيع كمية حركة التركيب النقطى "الكواركى" للنويد. ومع ذلك فقد وجد انتهاك مقياس أيضًا، وقد فسر ذلك بدلالة تأثيرات طاقة للكروموديناميكا الكمية فى كمية الحركة ومغزلية النويدات(١).

٤-٤ سلسلة النماذج

لقد رأينا كيف أن معاملات الشكل قد تم تعميمها تدريجيًّا. والتسلسل الذى جرى به التعميم قد بين الطريق الذى به جعلوا خلق نطاق جديد لنظرية التشتت ممكنًا. فقد أنشئوا سلسلة من النماذج بادئين بأساسيات النظرية التقليدية المعروفة للتشتت. ويقف كل نموذج على علاقة من الاختزال التقريبى لما يجاوره فى التشتت الأقل طاقة، آخرهم نموذج تشتت "موت" بعلاقة الاختزال التقريبى لمعادلة "رذرفورد". وبذلك، تأتّى لهم سلسلة من النماذج لتشتت جسيمات نقطية مسبارة ذات طاقة متزايدة عند شحنة نقطية أو جهد "كولوم". وبالنسبة إلى معادلات المقطع المحسوبة فى هذه النماذج، فقد تم تحديد معاملات شكل مختلفة. إنها تصف انتهاك "لا متغيرة" المقياس بدلالة بنيات غير نقطية، مما أدى إلى نماذج شبه تقليدية لتركيب ما دون الذرة. فى تلك النماذج شبه التقليدية، قد تم تفسير انتهاكات المقياس المقاسة أو التركيبات اللا نقطية بدلالة توزيعات الشحنة الكهربية توزيعات العزم

---

(١) المرجعان Povh et al. 1999. و Perkins 2000, ١٥٤ . طبقًا لفرضيات الكروموديناميكا الكمية ونظرية المجال الكمى للتفاعلات القوية فهى نتيجة تفاعلات الكواركات التى فيها تتبعث وتمتص الجلونات التصورية مما يؤدى إلى أزواج الكواركات والكواركات المضادة الافتراضية.

مكتبة الفكر الجديد

المغناطيسى. وكلما كانت طاقة التشتت أعلى، صغرت التركيبات المقاسة لما دون الذرة، كما يفترض "دى برولى" للطول الموجى $\lambda = h/p$.

وتبنى سلسلة هذه النماذج شبه التقليدية جسرًا بين الأوصاف التقليدية وغير التقليدية لمراكز التشتيت. كل من النماذج شبه التقليدية توظف نصًّا عموميًا لمبدأ تناظر "بور" على اعتبار أنها تصف البناء الكهرومغناطيسى للذرة بدلالة توزيعات الشحنة والعزم المغناطيسى ومعاملات الشكل بدلاً من دالة الموجة متعددة الجسيمات لميكانيكا الكم[1]. على أي حال، فالسلسلة مكونة من المزيد والمزيد من النماذج العامة لعملية التشتت، والنموذج الأكثر عمومية لم يعد شبه تقليدى. فهى لم تعد تعتمد على الوصف النوعى لعملية التشتت ونموذج شبه تقليدى لتركيب ما دون الذرة. إنها بنيت فقط على السمات العامة لنظرية مجال كمّى، تسمى ثابت "لورنس" و"لا متغيرة" المعيار ومعادلة المجال النسبوى.

وحقيقة، لقد أنشأت هذه السلسلة جسورًا من دلالات الألفاظ بين نُطاقات النظريات غير القابلة للقياس فى توجّه "توماس كوهن"[2]. إنها تصل الجفوات بين الميانيكا النقطية التقليدية والكهروديناميكا التقليدية وميكانيكا الكم اللا نسبوية ونظرية مصفوفة S ونظرية المجال الكمّى النسبوية. فميكانيكا الكم النقطية تصف المسارات الفردية للجسيمات المشحونة الكلاسيكية. والكهروديناميكا التقليدية تصف البنية الكهروديناميكية للذرة والنواة والنويد

---

(١) انظر الفقرة (٥-٤-٢).

(2) Kuhn 1962, 1970.

مكتبة الفكر الجديد

بدلالة جهد "كولوم" أو بدلالة معاملات شكل. وتستغنى نظرية المجال الكمّى عن الجهود شبه الكلاسيكية والأوصاف شبه الكلاسيكية لمركز التشتت. عبر سلسلة النماذج، تم الاستغناء عن المزيد والمزيد من الفروض الكلاسيكية. إن نموذج "رذرفورد" للتشتت مقيد بالنظرية وكذلك النماذج شبه الكلاسيكية لتركيب ما دون الذرة. على أي حال، ففى التدرج من أجل تعميم النموذج، يحاول الفرد قدر الإمكان، التخلص من الفروض الكلاسيكية النوعية فى النماذج. وعلى وجه التحديد، فنموذج التركيب المكانى غير النسبوى قد تم استبداله بنموذج تركيب "زمانى – مكانى" به. ثم تم تفسير النموذج النسبوى بدلالة تركيب كهرومغناطيسى وأخيرًا تم تعميمه إلى نموذج عام لتركيب حركى. ولا يزال تعريف ثابت "لورنس" الأكثر عمومية لمعاملات الشكل، على كل حال، مبنيًّا على الفروض الحاسمة الأربعة الآتية:

(أ) الجسيمات المشتتة خرة تقريبًا قبل التشتت وبعده (غير مقيدة)، طبقًا لتقريب "بورن".

(ب) الجسيمات المشتتة تتبع قوانين الحركة النسبوية؛ حيث يحفظ كمية الحركة الرباعية النسبوية.

(ج) التفاعلات الخاصة بالجسيمات الحرة ذات اللا تركيب يتم وصفها بنظرية المجال الكمىّ النسبوية.

(د) التفاعل بين جسيمين لا تركيبين يمكن حسابه بتمديد الاضطراب. بتأثيرات الجسيمات المشتتة على محلل عوامل مصفوفة S.

مكتبة الفكر الجديد

الفرضان الأول والرابع يقرّان الانفصالية. إنهما يجعلان من الممكن نسبة التراكيب الحركية المنفصلة للجسيمات المشتتة. فالفرض الأول يقول: إن الجسيمات المشتتة منفصلة بوقت طويل قبل التشتت وبعده؛ بمعنى أن حالاتهم الكمية ليست متشابكة. (وهذا يقابل دليلاً تجريبيًّا، بمعنى أنه يقابل قياس المواضع الفردية وآثار مسارات الجسيمات).

والفرض الرابع يقول: إن تأثيراتها فى التشتت من الممكن فصلها، بمعنى أن حد التفاعل الـ"لا جرانى" بالنسبة إلى ما يقابله من نظرية المجال الكمىّ (طبقًا لتقريب "بورن") ينحلّ إلى فراغين مستقلين فرعيين من فراغ "هيلبرت". (وهذا سلوك مثالى. ولكن، على أي حال، فالتأثيرات التى تم إهمالها يمكن إضافتها بدلالة مراتب عليا من التصحيحات).

والآن، ماذا عن إمكانيات تفسير معاملات الشكل بأسلوب حرفىّ؟ ما نوع البنية الذرية التحتية التى يصفها معامل الشكل؟ وهل يقابل البناء شبه الكلاسيكى للتوزيع الشحنى المكانى واقعية ما دون الذرة؟ إذا كانت النظرية المبنية على الفروض من (أ) الى (د) مقبولة تجريبيًّا، فهى تدعّم إسناد معامل الشكل المشروط المقاس لجسيمات ما دون الذرة. ومن ثم يمكن دعم التفسير الحرفى لمعاملات الشكل. وفى هذه الحالة، يمكن اعتبار التراكيب الكهرومغناطيسية التى وصفت بمعاملات الشكل النسبوية صحيحة، على الأقل فى محاور إسناد نسبوية معينة. على أي حال، هذا التفسير صالح فقط فى الواقعية النقدية. إن قياس معامل الشكل يعبّر عن تركيب حقيقى لواقعية البنية الذرية التحتية. وتركيب البنية التحتية هذا يعد سببًا لانتهاكات "لا متغيرة" المقياس. وانتهاكات "لا متغيرة" المقياس هذه، على أي حال،

مكتبة الفكر الجديد

تفسر ارتباطًا بما يعتبر تشتتًا عند شحنة نقطية. إن التفسير الواقعى لأبنية ما دون الذرة المقاسة متعلق بأربعة اعتبارات؛ بمعنى أن البنيات تحت الذرية تعرّف ارتباطًا بما يلى:

١- النطاق الممكن دخوله عند طاقة تشتت معينة.

٢- محاور الإسناد التى تمكّن من التفسير المكانى.

٣- نموذج التشتت النقطى فى هذا النطاق.

٤- درجة الاضطراب المستخدم فى الحسابات.

وتفصيل النقاط الأربع هو كما يلى:

١- كلما ارتفعت طاقة التشتت، صغرت تركيبات البنية التحتية الذرية المقاسة، طبقًا للطول الموجى لـ"دى برولى" ($\lambda = h/p$)

لوابل تجربة التشتت. وسوف تبحث الأسس النظرية لهذه الاعتبارات الكشفية فى الجزء التالى. والآن نقطة أخرى هى الفاصلة. إن البنية الذرية التحتية ليس لها وجود فى حد ذاتها. إنها تعرض فقط فى تجربة تشتت عند طاقة معينة؛ أى أنها نتاج تفاعل. وكلما كانت الطاقة المعطاة أثناء التفاعل أعلى، كانت المقاسة أصغر. وبالإضافة إلى ذلك، فطبقًا لقوانين نظرية المجال الكميّ، عند طاقات بالغة الارتفاع، تظهر تركيبات جديدة. وتخبرنا الكروموديناميكا الكمية (أى نظرية المجال الكمية للتفاعلات القوية) أنه بارتفاع طاقة التشتت يكثر إنتاج أزواج الكواركات والكواركات المضادة والجلونات داخل النويد. وطبقًا لنموذج التشتت فى هذا النطاق، يترتب عليه، مرة

مكتبة الفكر الجديد

أخرى، انتهاكات قياسية حدث أن شوهدت بالفعل[1]. ويلقى هذا ضوءًا جديدًا على سؤال "أدينجتون" القديم حول ما إذا كان هذا اكتشافًا أم تلفيقًا. هل تكشف التفاعلات التى تجرى عند طاقة معينة التركيبات المقاسة أم تولّدها؟ ودون إعطاء إجابة سريعة، يجب ملاحظة أن القضية هى حنطة فى الطاحونة الكانطية. وطبقا لنصّ "كانط" للواقعية النقدية، فإن الواقعية التجريبية (المادة العيانية) هى "حصيلة علاقات إجمالية" بدلا من مادة فى الحسّ التقليدى لشىء فى حد ذاته، أى "ديكارتى" فى حد ذاته[2].

٢- فى النموذج غير النسبوى، يكوّن معامل الشكل ببساطة هو تحوّل "فوريير" للتوزيع الشحنى المكانى. أما فى النماذج النسبوية، فلا تمكّن معاملات الشكل، بصفة عام من التفسير المكانى. وتفسيرها المكانىّ ممكن فقط نسبة إلى محاور إسناد خاصة جدًّا: محاور "برايت"؛ حيث تختفى فيها مركبة الطاقة فى كمية الحركة المنتقلة الرباعية q[3]. ولا تتطابق هذه المحاور عامة مع المحاور الساكنة فى مركز التشتيت. ولذلك فمن الواضح كيف أن معامل شكل نسبوى (وما يقابله من توزيع شحنى مكانى فى نظام "برايت") يتصل بالشكل الحقيقى لجسيم أو مركز تشتيت فى حد ذاته فى إطار المحاور الساكن. ويتفق الإطاران من المحاور فقط إذا كانت كتلة الجسيم المسبار صغيرة جدًّا

---

(١) المرجعان Povh et al. 1999. و Perkins 2000. .

(٢) المراجع: Nactmann 1990.Heisenberg 1930a&b.,Kant 1787.

(٣) المرجعان Breit and Whealer1934. و Nactmann 1990.

مكتبة الفكر الجديد

بالنسبة إلى كتلة مركز التشتيت، بمعنى أنه، إذا كان من الممكن اعتبار الأخير ثابتًا فى المكان (تقريب الكتلة النهائية)[1]. على أى الأحوال، هذا هو بالتحديد النموذج النسبوى لتشتت عند جهد ثابت (تشتت "موت") الذى يوجد الصلة مع تشتت "رذرفورد". وفيما عدا تشتت "موت" فلا يوجد تفسير مكانى لمركز التشتيت. وعلى وجه التحديد، معاملات الشكل الكهرومغناطيسية للبروتون أو النيوترون لا توضح إطارًا مستقلاً للتركيبات المكانية بل تركيبات "لورنس" الكهرومغناطيسية الثابتة.

٣- وبالإضافة، فتركيبات ما دون الذرة تحدد فقط نسبة إلى نموذج معين للتشتت. وماهية التركيب اللا نقطى تعتمد على نموذج تشتت على شحنة نقطية. وقد تم بالفعل بيان أن المفهوم الأصلى لمعامل شكل هو شبه كلاسيكى وغير نسبوى؛ بمعنى أنه يحدد نسبة إلى معادلة "رذرفورد" التقليدية أو طبقًا لميكانيكا الكم. وتعميماتها تحدد نسبة إلى معادلة "موت" وتشتت الإلكترونات عند بروتون "ديراك". ومن ثم تحدد النقطية واللا نقطية بدلالة "لا متغيرة" المقياس أو انتهاكات المقياس للمقاطع المقاسة والمحسوبة.

والتعريف الأكثر عمومية لمعامل "لورنس" الثابت ودالات التركيب لا تتعلق بالنموذج، معقودة نسبة إلى الفروض الأربعة التى تمت مناقشتها عاليه. فهذه الفروض حاسمة حقًا عند حسابات تفاعلات الجسيم طبقًا لنظرية

---

(١) بصورة جذابة تقليدية للتشتت، فهذا يعنى أن الفرد يمكن أن يهمل ارتداد مركز التشتت بالمقارنة مع الجسيم المتشتت.

مكتبة الفكر الجديد

المجال الكمى فى إطار نظرية مصفوفة S فى تقريب "بورن". على أى حال، هى بوضوح ليست المنهج الأكثر عمومية الوحيد الذى يمكن أن يتصوره الفرد فى نظرية كمّ أساسية للتفاعلات الأربعة المعروفة.

٤- تعريف "لا متغيرة" "لورنس" لمعاملات الشكل للنويد ودالات التركيب، على وجه التحديد، تستند إلى تقريب "بورن" لنظرية الكم للتشتت. وعلى أي حال، فمن خلال هذا الفرض، يكون الاعتماد على النموذج قد عاد من الباب الخلفى. فالتعريف يفترض مسبقًا تمديد الاضطراب للتفاعل. وكوصف نظرى للتركيبات اللا نقطية؛ إذ إن معاملات الشكل تحسب من أدنى درجة لنظرية الاضطراب. وفيما عدا نموذج تشتت "رذرفورد"، فهى تعرف أيضًا نسبة إلى تقريب "بورن" فى تشتت "رذرفورد" للجسيمات اللا نقطية. وبقدر ما يكون تقريب "بورن" جيدًا، يكون تعريفها مفهومًا. ولكن فى تجربة تشتت عالية الدقة، تدخل اللعبة درجات أعلى من تمديد الاضطراب. فبالنسبة إلى معادلة تشتت تشمل حدودًا أعلى، يصبح تعريف معاملات الشكل مبهمًا. والآن يبرز السؤال، هل يجب أن تفهم معاملات الشكل على أنها كميات خللية (ذات خلل) (أى تتعلق بتقريب "بورن" لمعادلة تشتت لجسيمات نقطية)؟ أم هل يجب أن تفهم على أنها كميات غير خللية (أى تتعلق بمعادلة تشتت تشمل حدودًا أعلى للتصحيح)؟ فى حالة عملية تشتت توصف بمعادلة "ديراك"، تكون هذه الخيارات كما يلى: فى الحالة الأولى تكون إسهامات الدرجات الأعلى للتشتت قابلة للصياغة بدلالة معاملات الشكل. وفى الحالة الثانية،

مكتبة الفكر الجديد

يحتوى مقطع الجسيمات مزدوجة النقطية أو اللا تركيبية على كل الإسهامات ذات الصلة بالتشتت.

هذا الغموض يأتى صراحة بعنصر مألوف إلى تعريف معاملات الشكل وإلى تركيب جسيمات ما دون الذرة. وطبقًا للتعريف الاضطرابى لمعاملات الشكل، يظهر التركيب الكهرومغناطيسى للإلكترون عند طاقة تشتت عالية بدرجة كافية[1]. فى الكتب الأساسية، تفسّر هذه القضية غالبًا بدلالة جسيمات وهمية، ويقال: إن الدرجة الأعلى لبنية الإلكترون تتاظر سحابة من الجسيمات التخيلية محيطة بالإلكترون المجرد. وعلى الرغم من أن النظريين ليس لديهم مشكلة مع الوصف الصوري لعمليات التشتت الكامن وراء هذا الحديث غير الصوري، فإن معنى هذا الحديث لا يكون واضحًا. فإسناد سحابة من الجسيمات الوهمية للإلكترون، يشوش مفهوم الإلكترون فى حد ذاته والإلكترون ككيان منطقى، بالتحديد كأداة فى عملية تشتت.

وعلى ذلك، فتعريف تركيب ما دون الذرة ليس نسبيًا فقط لطاقة التشتت، ولا لإطار إسناد معين، ولا لسلسة نماذج تشتت نقطى. وبالإضافة إلى ذلك، يصبح غامضًا إذا تم تجاوز صحة تقريب "بورن". على أي حال، فقضايا تفسير معاملات الشكل لجسيمات ما دون الذرة تظهر فقط فى نطاق نظرية المجال الكمّى النسبوية. فى نطاق ميكانيكا الكم غير النسبوية لتشتت وفى نطاق تقريب الكتلة اللا نهائية، يكون الوصول إلى تشييد بنية تحتية ذرية بدلالة معاملات الشكل الكهرومغناطيسة، ما زال ممكنا. وفى كلا

---

(١) تعرف معاملات الشكل الاضطرابية للكهروديناميكا الكمية، على سبيل المثال فى المرجع: Itzykson and Zuber 1980, 30 . ويرتبط التعريف ببرنامج إعادة التسوية.

مكتبة الفكر الجديد

الحالين يظلّ فى الإمكان اعتبار الجسيمات المشتتة كيانات منفصلة بوضوح وإعطاء وصف شبه كلاسيكى لمركز التشتيت. وفى نطاق نظرية المجال الكمّى النسبوية ينخرط الفرد منهمكًا فى قضية الدلالات اللفظية التى تم إهمالها فى هذا السلوك المثالى.

٤-٥ التناظر مع الميكروسكوب الضوئي

فى الحالة غير النسبوية، يمكن وصف مركز التشتيت على أنه تركيب مكانى بلا أى حرج. والسبب هو الوصف شبه الكلاسيكى لمراكز التشتيت بدلالة معاملات الشكل فى ميكانيكا الكم للتشتت. فى عملية تشتت كمّ ميكانيكية، يتم مسح التركيب الكهرومغناطيسى لمركز التشتيت بواسطة وابل من الجسيمات المشحونة كموجات الضوء فى الميكروسكوب؛ حيث يقاس التأثير الكلّى لمركز الشتيت على وابل الجسيمات. وهنا، يتم وصف وابل الجسيمات بدالة موجية لميكانيكا الكم. وينتج المقطع الفعلى المقاس من عملية حيود. ويؤثر مركز التشتيت على الموجة الحائدة (وبالتالى على وابل الجسيمات) ككل، بمعنى، كتركيب مكانى تكاملى. وعلى ذلك، فالتشتت الكمّى لوابل جسيمات عند تركيب لا نقطى يشبه أخذ العينات ضوئيًا فى ميكروسكوب.

هذا أكثر من مجرد تشبيه كشفى لا يعمل عند أخذ اعتبار أكثر قربًا. وبموجة كهرومغناطيسية عالية الطاقة؛ (أى بميكروسكوب أشعة إكس)، يملك الفرد تجريبًا مستقلاً للولوج إلى البنية الذرية. وبالإضافة، فعلى مستوى معادلات المجال يوجد تشابه رسمى بين ميكانيكا الكم للتشتت فى تقريب

مكتبة الفكر الجديد

"بورن" وحيود الموجات الكهرومغناطيسية عند شحنة نقطية أو توزيع شحنى مكانى. فإذا كان هناك شحنات بكثافة شحنية ρ ، فمعادلة الموجة فى الكهروديناميكا التقليدية للجهد القياسى φ تكون[1]:

$$\Delta\varphi - \frac{1}{c^2}\frac{\delta^2\varphi}{\delta t^2} = 4\pi\rho \qquad (4.16)$$

وتحل معادلة الموجة (4.16) بالجهد المعاق. ويمكن كتابة الجهد القياسى وكثافة الشحنة فى المعادلة (4.16) كما يلى:

$$\varphi(r,t) = \varphi_0(r)e^{-i\omega t} \qquad (4.17)$$

$$\rho(r,t) = \rho_0(r)e^{-i\omega t} \qquad (4.18)$$

وبالتعويض عن φ و ρ عند لحظة اختيارية t فى المعادلة (4.16) نحصل على المعادلة الآتية لكل من φ. و ρ.:

$$\Delta\varphi_0 + \left(\frac{\omega}{c}\right)^2\varphi_0 = \rho_0 \qquad (4.19)$$

هذه المعادلة لها نفس شكل معادلة "شرودنجر"، إذا تحققت شروط تقريب "بورن"؛ أى إذا كانت الموجة الكرّية المشتتة Ψ^{sc} صغيرة مقارنة بالموجة القادمة المستوية Ψ^{in} ، وإذا كان $V(r)$ يتضاءل سريعًا، وإذا كانت الحدود فى $V(r)\Psi^{in}$ مهملة[2]:

---

(١) التشابه الصوري منصوص عليه فى المرجع Pinsker 1953.

(٢) انظر Ibid 144.

مكتبة الفكر الجديد

$$\Delta\Psi^{sc} + k^2\Psi^{sc} = \left(\frac{4\pi m}{h}\right) \qquad (4.2.)$$

وبالتناظر الشكلى للمعادلتين (4.19) و(4.2.)، نحصل على الحل:

$$\varphi = \varphi^{in} + \varphi^{sc}$$

لمعادلة "شرودنجر" فى تقريب "بورن" ، إذا تم التعويض عن k بالقيمة ω/c وعن $V(r)$ بالقيمة $(4\pi m/h)^{in}\Psi^2$ بالقيمة $-4\pi\rho_0$() فى حل المعادلة (4.19). وبالجهد (4.4) لتوزيع شحنى قطرى نحصل على الحد (4.8) لمعامل الشكل الذى يصوغ انحراف تشتت "رذرفورد". وبالتالى يمكن وصف التشتت الكهرومغناطيسى عند توزيع شحنى من ناحية وتشتت جسيمات مشحونة عند جهد $V(r)$ من ناحية أخرى، بنفس معادلات الجهد الصورية. وتكون الحلول الصورية للجهد القياسى φ_0 والموجة المشتتة Ψ^{sc} فى تقريب "بورن" هما الشىء نفسه. وعلى هذا فهناك تشابه محدد بين نوعى عملية التشتت.

هذا التشابه صعب المنال. وبالتحديد، فمعامل شكل $F(k)$ يمكن أيضًا تحديده لشدة $I(\theta)$ لموجة كهرومغناطيسية تم تشتتها (أو حادث) عند توزيع شحنى $\rho(r)$.

$F(k)$ تمثل انحراف الشدة $I(\theta)_T$ فى تشتت "طومسون" للموجات الكهرومغناطيسية عند شحنة نقطية (المشابهة لتشتت "رذرفورد" لوابل من الإلكترونات.)[1]:

$$I(\theta) = I(\theta)_T|F(k)|^2, \qquad (4.21)$$

---

(١) المرجع Compton and Allison 1935, 116 & 134.

مكتبة الفكر الجديد

مع

$$I(\theta)_T = I_0 \left(\frac{e^2}{mc^2}\right)^2 \frac{1}{2}(1 + \cos^2\theta), \qquad (4.22)$$

و

$$F(k) = \frac{4\pi}{k} \int \rho(r) \sin(kr)\, r\, dr \qquad (4.23)$$

وهنا:

$$k = \frac{4\pi}{\lambda} \sin\frac{\theta}{2}$$

هى طبقًا لعلاقة "دى برولیه" $|p| = \hbar/\lambda$ ، تشبه كمية الحركة المنتقلة:

$$\sin\frac{\theta}{2}\ q = 2|p|$$

لجسيمات مشحونة مسبارة. I_0 هى شدة الموجة الكهرومغناطيسية القادمة. m, e هما شحنة وكتلة الشحنة النقطية، على الترتيب. والمعادلة (4.21) تصف فقط الإسهام المتسق فى التشتت، بمعنى الإسهام دون انتقال طاقة. وبالمثل، تصف المعادلة (4.9) التشتت المرن لجسيم مشحون. وتنتج المعادلتان $(4.21), (4.22)$ أيضًا من ميكانيكا الكم للتشتت. وبالنسبة إلى تشتت "طومسون" وتعميماته للتوزيع الشحنى اللا نقطى، تعطى الحسابات الكلاسيكية والميكانيكا الكمية النتائج نفسها (كما فى حالة تشتت "رذرفورد"). فى كلتا الحالتين هناك تناظر دقيق بين معادلتى التشتت الكلاسيكية والكم ميكانيكة.

مكتبة الفكر الجديد

فمعاملى الشكل (4.8), (4.23) متشابهان شكليًا. وتحوّل "فوريير" للكميتين $F(q)$ و $F(k)$ تنتج التوزيع الشحنى نفسه $\rho(r)$. وهكذا، فالمقارنة الشكلية بين ميكانيكا الكم للتشتت وتشتت الموجات الكهرومغناطيسية عند توزيع شحنى يكشف أكثر من مجرد تشابه شكلى. فالموجات الكهرومغناطيسية الكلاسيكية والكمّيات الضوئية أو الفوتونات أو وابل الإلكترونات تفحص بدقة تركيب البنية الذرية التحتية لمراكز التشتت ليس فقط بطريقة التشابه ولكن بالأسلوب نفسه (تحت الظروف نفسها وبقدر صحة تقريب "بورن"). فالديناميكا الكهربية الكلاسيكية وميكانيكا الكم تتنبآن بأن الموجات الكهرومغناطيسية والجسيمات المشحونة تعطيان التصوّر نفسه لتركيبات ما دون الذرة. وقد تم تأكيد هذا التنبؤ لوقت طويل. وعلى وجه التحديد، فقد أعطت القياسات التى تمّت بأشعة "أكس" أو وابل الإلكترونات التركيب القشرى نفسه للذرات. وتؤكد هذه النتائج العملية أيضًا تنبؤات الدالة الموجية متعددة الأجسام Ψ لميكانيكا الكم (فى ضوء التفسير الاحتمالى المعتاد)؛ بمعنى، التنبؤ بأن $|\Psi|^2$ تناظر التوزيع الشحنى المكانى داخل الذرة. هذا التناظر التام بين الكهروديناميكا الكلاسيكية وميكانيكا الكم يكمن فى التصوير الرائج لبنية ما دون الذرة؛ أى فى الكتب الأصلية للتدريس، وكاستخدام الميكروسكوب الإلكترونى.

إن التشابه بين الكهروديناميكا فى الحيود، وميكانيكا الكم فى التشتت له تداعيات مهمة متصلة بالموجه المُساعد. فالتشابه مع الميكروسكوب الإلكترونى يجعل من الممكن تعريف التحليل المكانى لتجربة تشتت مع جسيمات مشحونة؛ إذ إنه طبقًا لميكانيكا الكم، يكون التحليل المكانى لتجربة

مكتبة الفكر الجديد

تشتت محدودًا بالطول الموجى "لدى برولى" للجسيمات المسبارة. فالقيم أقل من الطول الموجى "لدى برولى"، لا تعدّ التركيبات المكانية قابلة للقياس. وهنا، يناظر التركيب المكانى غير القابل للقياس معامل شكل $F(q)\equiv 1$ ؛ أى، لمعادلة "رذرفورد" للشتت. إن التمييز المكانى ΔR للميكروسكوب الضوئى يتناسب مع الطول الموجى للضوء λ :

$$\Delta R = A\lambda \qquad (4.24)$$

والثابت A هنا يحتوى كميات خاصة بجهاز القياس مثل فتحة الميكروسكوب. والتمييز الفراغى يتناسب مع العدد الموجى $2\pi/\lambda$ للضوء. وبسبب التناظر التام بين حيود الموجات الكهرومغناطيسية والتشتت الكمى عند توزيع شحنى فراغى، فالتمييز الفراغى لإلكترون ميكروسكوب أو تجربة تشتت يكون بالتشابه مع المعادلة (4.24)، متناسبًا مع الطول الموجى "لدى برولى" λ كما يتناسب مع كمية الحركة $hk/2\pi$ للجسيمات المشحونة وفى نطاق النسبوية، مع طاقة حركتها $E = pc$:

$$\Delta R \sim \frac{1}{\mathrm{p}} \qquad (4.25)$$

$$\Delta R \sim \frac{1}{E} \qquad (4.26)$$

المعادلتان (4.25)و(4.26) توضحان العلاقة الرائدة بين زيادة طاقة الوابل وتحسن التمييز الفراغى المشار إليه آنفًا. على أن العلاقة النسبية (4.26) تكون صحيحة فقط فى محاور الإسناد الذى يختفى فيه انتقال الطاقة بين الجسيمات المسبارة ومركز التشتيت؛ أى فى نظام

مكتبة الفكر الجديد

"برايت"[1]. ففى محاور الإسناد هذه فقط يمكن تعميم التفسير الفراغى لمعاملات الشكل. فبرفع كمية الحركة وما يتبعها من طاقة لوابل الجسيمات فى تجربة تشتت عالية الطاقة، تصغر التركيبات الفراغية التى يمكن قياسها. هذا التعميم يؤدى إلى إمكانية النظر أعمق فأعمق داخل الذرة عند الطاقات العالية فالأعلى. وتتمشى هذه الإمكانية مع حقيقة أن "لا متغيرة" المقياس الذى يبين التركيبات النقطية أو تكوينات الكواركات داخل البروتون والنيوترون تم قياسها فقط عند طاقة تشتيت أعلى بكثير من الطاقة المتاحة "لهوفشتادر" فى قياساته لمعاملات الشكل فى الخمسينيات من القرن العشرين.

على أى حال، فالعلاقة اللا نسبوية (4.25) بين التمييز الفراغى وكمية حركة الوابل لا علاقة لها بمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. وبالمثل، فالعلاقة النسبوية (4.26) بين التمييز الفراغى وطاقة الوابل لا علاقة لها بنقطة التحول الكلاسيكية لتشتت "رذرفورد"[2].

---

(١) المرجع .Breit and Whealer1934 الفقرتان (٣-٤) و (٤-٤).

(٢) الشرطان E=(1/2)mv2 and C/r=E يعرفان نقطة التحول (R=C/E) للجسيمات المشحونة فى تشتت "رذرفورد" الكلاسيكى. ففى الصورة الكلاسيكية للجسيم من الممكن اعتبار نقطة التحول هذه الحجم المؤثر لمركز تشتت شبيه نقطى الذى تم تفسيره بجهد "كولومب" (V=C/r)؛ حيث إنها تعرّف مقدار التوزيع الشحنى اللا شبيه النقطية والمؤدى إلى حيودات قابلة للقياس من معادلة "رذرفورد" للتشتت. فإذا كان حجم التوزيع الشحنى الممتد أصغر كثيرًا من الحجم المؤثر (R=C/E) ، فإن مسارات الجسيمات المسبارة لا تقترب بدرجة كافية من مراكز التشتت؛ كى تؤدى إلى مثل هذه الحيودات. وفى بحثه عام ١٩١١، استنتج "رذرفورد" الحدود القصوى لحجم النواة من هذه الاعتبارات. وفى هذا التوجه تعطى الكمية (R=C/E) التمييز الفراغى=

مكتبة الفكر الجديد

فى النهاية، ما الذى يجب أن نعتقده من هذا التشابه بين الحيود التقليدى وميكانيكا الكم للتشتت؟ فالتوزيع القطرى (ρ) الناتج من معاملات الشكل التى تم قياسها تقابل التوزيع الشحنى المقاسة باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى، والأخير بالتالى يعمل تمامًا كميكروسكوب ضوئى. وهذا التناظر يؤيد الاعتقاد التالى: إن التوزيع الشحنى: $\rho(r) = |\varphi^N(r)|^2$ داخل ذرة مستدل عليه من معاملات شكل مقاسة فى تجربة تشتت لجسيمات مشحونة ليست أقل واقعية من التركيب الفراغى المشاهد من خلال ميكروسكوب. إنه ينتمى إلى الواقعية التجريبية، من حيث تركيب فراغى داخل الذرة.

هل هناك أى قطع فى تواصل المشاهدة فى استخدام أجهزة بصرية مثل العين المجردة أو العدسة المكبرة أو الميكروسكوب نزولاً إلى الميكروسكوب الإلكترونى وتجارب التشتت المستخدم فيها أشعة جاما أو جسيمات فيزياء الطاقة العالية؟ من وجهة نظر طبيعية يمكن أن يجادل الفرد كما يلى: فالمشاهدة بالعين المجردة تتبع قوانين هندسة البصريات. وبالتالى، إذا حدث قطع فى المشاهد، فلا بد أن يحدث عند حدود نهاية قوانين هندسة

=لتشتت "رذرفورد" الكلاسيكى. وعلى أى الأحوال فالاتفاق مع المعادلة (٢٦-٤) محض صدفة. والعلاقة (٢٥-٤) كانت تسمى علاقة اللا تحديد لطاقة التشتت والتمييز الفراغى. وقد تم اشتقاقها من علاقة اللا تحديد للموضع وكمية الحركة. هذا المنطق الرائد للمعادلة (٢٥-٤) مضلل على أي الأحوال. فلا توجد تجربة تشتت تؤدى إلى قياس موضع لمركز تشتت بالمفهوم المعتاد، بالإضافة إلى أن المعادلة (٢٥-٤) لا تتبع من ميكانيكا الكم. إنها تسوق من البصريات الموجية وتشابهها مع ميكانيكا الكم للتشتت الذى يؤدى إلى صلابة المعادلة (٢٥-٤) مقابل تغيرات بين النماذج المتباينة للتشتت.

مكتبة الفكر الجديد

البصريات وعندما تكون صورة تركيب فراغى معين قد أتت نتيجة التأثيرات المعقدة للحيود. وفى هذه الحالة، يجب الفصل بين العدسة المكبرة والميكروسكوب الضوئى. ولكن هذا سوف يعنى أن الميكروبات وغيرها مما يشاهد فى قطرة ماء خلال ميكروسكوب لا ينتمى إلى الواقعية التجريبية[١]. وبذلك، فإذا لم يرغب الفرد فى عمل هذا الفصل، فعليه أن يقرّ بأن بنية ما دون الذرة التى تم فحصها بوابل الجسيمات فى ميكروسكوبات إلكترونية أو معجّلات الجسيمات هى واقع كالأجسام المرئية والأفراد فى صورة فوتوغرافية. وبالتماثل، فالأخير لا يؤدى إلى إدراك فورى؛ بل إلى أمثلة حقيقية على مقياس آخر (من خلال بعدين ومنظور).

٤-٦ النظر داخل الذرة

دعنا نستعيد نتائج الباب الثانى فى هذه النقطة. فمن خلال وجهة نظر معتنق للمذهب التجريبى (مثل ذلك الذى تبناه "فان فراسن")[٢]. تكون المشاهدة مقيدة بالإدراك الحسّى. وحيث إن وجهة النظر هذه مخالفة لطرق العلم الحديثة، فيجب توظيف نظرة عامة حتى نأخذ فى الاعتبار ما الذى يحسب كمشاهدة فى الفيزياء. إن المفهوم العمومى الذى ظهر فى الجزء (5-2)، لا يؤيد الخلاصة التى تم الوصول إليها آنفًا. ولقد اقترحنا شرطين واجبين لمشاهدة جسم فيزيائى أو نظام x: أ- كميات فيزيائية مميزة للنظام x ممكن قياسها و ب- إنهما يمكن نسبتهما للنظام x على أساس واقعة علية فردية.

---

(١) انظر المناقشة التعليمية للرؤية خلال الميكروسكوب فى المرجع Pais 1986, 73-74.

(٢) مرجع Van Fraassen 1980.

مكتبة الفكر الجديد

وفى الحقيقة، فإن قياس التركيب النقطى واللا نقطى فى تجربة تشتت لا يمكن حسابه كمشاهدة لمراكز تشتيت أو تركيباتها الفراغية فى هذا التوجّه. أما الشرط الثانى فمنتهك. فلا يمكن تقصى أثر مقطع مقاس حتى سببه الفردى. فلا واقعة علية تربط معامل شكل مقاس أو دالة تركيب بالسبب ورائها. فمحاولة إخبار واقعة علية فردية عن مركز تشتيت، مصيرها الفشل. والسبب فى ذلك ليس فى أن التشتت يتبع قوانين ميكانيكا الكم وأن ميكانيكا الكم ذات معنى احتمالى. فهناك تشابه تام بين حيود وابل الأجسام وحيود الضوء. فالضوء الذى يحيد فى الميكروسكوب يجعل الجسم المفرد مرئيًّا. وبالطريقة نفسها تمامًا، يفحص وابل الجسيمات فى الميكروسكوب الإلكترونى شيئًا فرديًّا. وبهذه الطريقة، تم جعل التركيب الشحنى لذرة مفردة مرئيًّا على مقياس "النانو". فى تجربة تشتت، على أي حال، لا يحيد وابل الجسيمات عند مركز تشتيت مفرد؛ بل عند كتلة مادية. فمقطع "رذرفورد" لم يتم قياسه بتشتت جسيمات ألفا عند ذرة ذهب؛ بل عند رقيقة ذهب. وفى قياس "هوفشتادر" لمعاملات الشكل للبروتون والنيوترون، قد تم قياسها من تشتت وابل إلكترونات عند هدف كبير. والواقعة العلية التى يمكن أن تذكر حول مقطع مقاس هى مجرد تأثير كلىّ لهدف ماكروسكوبى على وابل الجسيمات.

وحول تأثير الذرات الفردية أو تركيب ما دون الذرة على الوابل، فلا توجد وقائع علية فردية يمكن أن تذكر. وكل ما يمكن ذكره هو آثار مسارات الجسيمات ووقائع التشتت التى تسهم فى قياس مقطع. تلك الوقائع العلية تم ذكرها فى الحقيقة بدلالة قوانين الحفظ ومجموع قواعد للكميات الديناميكية؛

مكتبة الفكر الجديد

مثل الكتلة والشحنة والمغزلية ...إلخ. إنها لا تدعم عليًّا ولكن تدعم تعليل (الجزء – كل) لمراكز تشتيت ما دون الذرة[1]. ومن هنا، فالتشابه بين حيود الضوء وحيود وابل الإلكترونات لا يعمل عند مستوى أمثلة تركيبات فردية لما دون الذرة. في تجربة تشتت عالية الطاقة، فإن التركيبات لما دون الذرة لا تلاحظ بوجه عام. ويستدل عليها من المقاطع المقاسة على أسس نظرية يتم شرحها في هذا الباب. وبوابل الجسيمات المتولدة في المعجلات لا يمكن للفرد أن ينظر إلى الذرة، ولا يمكن أن يرى تركيبات ما دون الذرة ولا يلاحظ التركيبات النقطية داخل النويد. فهذا الحديث هو درب من المجاز[2] والشيء الوحيد الذي يجعل وابل الجسيمات مرئيًّا هو تركيب الهدف الماكروسكوبى. (وفي الحقيقة ومنذ عشرين عامًا مضت استعمل بعض أعضاء شراكة *CDHS* وابل النيوترينوات لتجربة التشتت *CDHS* لأخذ صورة لذرة الهيدروجين. وكان متوقعًا؛ حيث جعل وابل النيوترينوات جدران الخزّان أحسن رؤية من الغاز في داخله وقد عرضت هذه الصورة على سبيل الدعابة في إحدى المقابلات. وقد خدمت بشكل قاطع بيان أن التجربة كانت ذات كفاءة كافية لقياس أى مقطع لنيوترينو على الهيدروجين). وعلى كل حال، فالصورة نصف الكلاسيكية لواقعية ما دون الذرة التي تم الحصول عليها من معاملات الشكل ودوال التركيب هي بنائية أو إنشائية (وتظل كذلك). ويرتكز هذا الإنشاء لواقعية ما دون الذرة على الأوتاد النظرية الأربعة الآتية:

---

(١) انظر الباب السابع.

(٢) لقد جذب انتباه "فوكس" عام ٢٠٠٦ إلى هذه النقطة. وفى تباين واضح مع "فولكنبرج" ١٩٩٥، لم أعد أزعم أن تجارب التشتت هى مشاهدات فى رؤية "شابر".

مكتبة الفكر الجديد

أ) "لا متغيرة" الأبعاد:

إن فرض ما وراء النظرية بأن قوانين الطبيعة ثابتة بعديًا هو مبدأ "لا متغيرة" عام في الفيزياء. وكباقي المبادئ المتماثلة العديدة فهو يعمل كأداة للتوحيد أن "اللا متغير" البعدى هو شرط ضروري لإسناد الكميات مثل الكتلة وكمية الحركة والشحنة إلى كيانات على المقياس الميكرسكوبى(١).

ب) التناظر:

إن التناظر بين التشتت التقليدى ونماذج ميكانيكا الكم للتشتت مبنى على العلاقات النظرية البينية السابقة. وفي الحقيقة، هذا التناظر له وجهان وميكانيكا كم للتشتت عند جهد تقليدى هو تشابه سابق تام مع حيود الموجة الضوئية الكلاسيكية. وجهد " كولوم"، هو تناظر تام مع معادلة "رذرفورد" للجسيمات المشحونة التقليدية.

ج) النقطية:

إن مفهوم النقطية يرتكز علي استدلال من "لا متغيرة" المقياس لمقطع فعلى للتركيب شبيه النقطى لمركز تشتيت لا تركيبى. وطبقًا لذلك فالوابل ذو الطاقة الأعلى يؤدى إلى تحسن في التمييز الفراغى. و"اللا متغير" البعدى يؤدى إلى التحليل البعدى. وطبقًا لذلك، فاستقلال الطاقة لمقطع لا بعدى يدل على مركز تشتيت نقطى.

---

(١) انظر المرجع **Krantz et. al. 1971.** الباب العاشر وملحوظاتى فى الفقرتين (٥-٤) و(٥-٥).

مكتبة الفكر الجديد

د) معاملات الشكل:

إن تعريف معامل الشكل هو نصف تقليدى فمعاملات الشكل تصف انحرافات المقاطع المقاسة من تشتت "رذرفورد" أو تعميماتها النسبية؛ وهي يمكن تقسيرها بدلالة توزيعات شحنية لمراكز تشتيت لا نقطى. وفي الحالة النسبوية، بأي حال، يكون التفسير صحيحًا فقط لمحاور إسناد "برايت" التى يختفى فيها انتقال طاقة التشتت.

إن إنشائية واقعية ما دون الذرة تصاغ بدلالة معاملات الشكل ودوال التركيب. (لتركيب نقطى، فمعامل الشكل=١). وكما رأينا في الأجزاء السابقة، فإن تعريف تركيبات ما دون الذرة بهذه الاصطلاحات هي نسبية لعدة اعتبارات؛ إذ إن تركيبات ما دون الذرة قد تم تعريفها نسبةً إلى طاقة التشتت أولاً، ثم محاور نسبية ثانيًا، ثم نموذج تشتت نقطي ثالثًا، ثم درجة الاضطراب رابعًا.

والتفسير الفراغي لمعاملات الشكل مقيد بميكانيكا الكم النسبوية في تقريب الكتلة اللا نهائية ولتقريب "بورن". ولأسباب واضحة، فالجسيمات المسبارة لقياس معامل شكل يجب أيضًا اختيارها بحيث لا تحدث تأثيرات كمية بحتة (لا تأثيرات متبادلة ولا تشتت لجسيمات متماثلة ولا تأثيرات مغزلية). وهكذا، فالإنشاء الفراغى نصف التقليدى لتركيبات ما دون الذرة يصلح فقط إذا كان للتشتت تناظرًا تقليديًّا. وفيما وراء التناظر لحالة كلاسيكية، فإن مفهوم التركيب الفراغى يجب أن يستبدل بمفهوم تصورّى للتركيبات الكهرومغناطيسية. هذا المفهوم يمكن تعميمه ليشمل تفاعلات أخرى؛ أى، تركيبات ديناميكية بوجه عام. على أي حال؛ أى تفسير لكلتا

مكتبة الفكر الجديد

التركيبات يجب أن يأخذ في الاعتبار أنها كيانات علائقية. إنها تسلك كتركيبات ثابتة فقط فى مدى معين من الطاقة. وبزيادة طاقة التشتت للجسيمات المسبارة، تتغير التركيبات المسبورة. فهى ليست "ديكارتية" كما يجب أن تكون؛ حيث تتواجد مستقلة عن أية تفاعلات. هي بالأحرى تشبه هدفًا زجاجيًّا رقيقًا يتم سبره بكرات بلياردو. وفى طاقة التشتت المنخفضة، يصح الزجاج. وفي طاقة التشتت العالية فإنه ينكسر مبديًّا سلوك تشتت مختلف تمامًا.

لقد صار الجدل في الفقرات السابقة على أن الحديث الشائع عن "النظر داخل الذرة" بمساعدة وابل جسيمات ذات طاقة عالية، هو مجرد مجاز. فمن باب المجاز يمكن أن نقول: بواسطة معجل الجسيمات، يرى الفرد بنية تركيبات ديناميكية لما دون الذرة داخل أهداف تجارب تشتت. وباستخدام تعبير التشابه، يمكن رؤيتهم كما يرون بميكرسكوب. وكلما ارتفعت طاقة التشتت صغرت التركيبات التي يمكن مشاهدتها. فالمشاهدة هي كل ما هنالك وزيادة المصداقية يقابلها تحسن في الشروط شبه التقليدية التي تقنع تشتت "رذرفورد"؛ أى تحسن في التناظر مع الحالة التقليدية. ومن بعد ذلك التناظر، تصبح المشاهدة الوثيقة أسوء فأسوء. وفي نطاق نظرية المجال الكمى النسبوية يعطى إنشاؤنا بالضرورة الواقعية الفيزيائية صورة مشوهة لبنية ما دون الذرة. إنها ببساطة تجعلنا ننظر إلى الذرة من خلال نظارات خاطئة. ولسوء الحظ، فليس لنا من الأدوات أفضل من ذلك.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الخامس

القياس ووحدة الفيزياء

لقد أوضحت الأبواب السابقة أن نظرية القياس للجسيمات الحالية قد فرضت ملمحين من الملامح؛ أولهما؛ أنها غير متجانسة. وبتعبير "تانسى كارتريت"، هي لها تركيب تدرّجي[1]. إنها تجمع القوانين النسبوية وغير النسبوية من الفيزياء الكلاسيكية والعديد من نظريات الكم. ثانيهما؛ أنها قد بنيت على مبادئ موحدة قوية. فإنشاء مقاييس الطول والزمن والكتلة يعطي على الأقل دلالة لفظية للوحدة في الفيزياء. واستخدام مثل هذه النظرية لقياس غير متجانس ليس طحيناً في طاحونة "تانسى كارتريت". وقد تأسست على الثقة في وحدة مخفية في الفيزياء. فى هذا الباب سوف أبحث في الفروض الإرشادية والمبادئ الموحدة خلف هذا الوثوق.

إن التركيب المتفكك لنظريات الكم الجارية ونظرياتها للقياس ترجع إلى مشكلة القياس الكمي. وحتى هذا اليوم لا توجد نظرية كمّية للقياس تصل الفجوة المبررة بين دالة موجية الكم الميكانيكي Ψ ونتائج القياس الفردية[2].

---

(١) انظر Cartwright 1999.

(٢) فى نظرية الكم للقياس، تسمى هذه الفجوة التفسيرية "مشكلة إضفاء الموضوعية" Objectification Problem، انظر بوش وآخرين ١٩٩١، ص٧٥-٨٣، ص٩٩-١٣٧، وميتلشتيت ١٩٩٨، ص٦٥-١٠٢.

مكتبة الفكر الجديد

وفي المرحلة الراهنة لميكانيكا الكم فإن هذه الفجوة المبررة تبدو غير قابلة للاختزال. وأية محاولات لإغلاقها تواجه عقبات كبيرة أقصاها هي علاقة اختزال الدالة الموجية إلى "لا متغيرة" "لورنس". وفي الحقيقة فالتفسيرات الفلسفية الجارية لنظرية الكم التى تهدف إلى إغلاق الفجوة لا تستطيع أن تتمشى مع نظرية مجال الكم النسبوية. وبالإضافة إلى ذلك، فهي تنتهك مبدأ الأنطولوجيا. ومن أجل إعادة تأسيس نوع من الواقعية غير النقدية، فعليهم ابتكار بُنى غير تجريبية غير اعتيادية(١).

وطالما أنه ليس ثمة مخرج من هذا الشقاق، فمن المفيد تطويع بعض الأفكار الصارمة لـ"نيلز بور" في فلسفة الكمّ وخاصة نظرته للغة في الفيزياء. فادعاء "بور" هو أن اللغة التقليدية لا غنى عنها. ولقد استمر ذلك صحيحًا حتى يومنا هذا. وعلى المستوى الفردى للنقرات في كشافات الجسيمات ومسارات الجسيمات في الصور الفوتوغرافية، فكل نتائج القياسات يجب أن تصاغ باصطلاحات كلاسيكية.

وفي الحقيقة، فإن استخدام الكميات الفيزيائية الشائعة: الطول والزمن والكتلة وكمية الحركة والطاقة، لمقياس ما دون الذرة، يرجع إلى امتداد اللغة

---

(١) فى هذا الصدد ينتقد "بتنام" ١٩٩٠، ١٠-١٤، نظرية "بوهم" فى المتغيرات الخفية وتفسير العوالم المتعددة لـ"إيفرت" كمحاولات لإنقاذ الواقعية الميتافيزيقية الكلاسيكية. ابتكر الأخير حشدًا من العوالم المتوازية التى تتولد بقياسات فى عالم الكم المتشعب. ويعيد الأسبق تأسيس مسارات الجسيمات ويفترض جهدًا غير موضعى يؤدى إلى الفعل عن بعد. وهذا يخالف مبدأ اللا تغير لـ"لورنتز". ومع ذلك يتعرض هذا المبدأ للانتهاك من قبل نظريات الانهيار التي تفتقر إلى مثل هذه البنية الميتافيزيقية الزائدة.

مكتبة الفكر الجديد

في الفيزياء الكلاسيكية إلى النطاق غير التقليدى. ولكن نظرية الكمّ أيضًا لا غنى عنها. فدونها لن يكون من الممكن وجود قياسات بالغة التحديد لفيزياء الجسيمات. ونظرية الكم تنطبق على مستوى النظرة الشاملة لقياس المقاطع والتوافقيات ومعاملات الشكل.... إلى آخره.

وأمام هذا الشقاق النظرى تصبح هناك مشكلة فرض دلالات لفظية على مقياس كبير وعلى مقياس صغير. وعلى أية حال، فنظرية القياس لفيزياء الجسيمات الحالية تفعل ذلك تمامًا. وهكذا تحتوى مشكلات عدم التناسب في توجه "توماس س. كون" إنها تجمع عدم التناسب في القوانين الكمية والتقليدية[1]. كيف يعمل ذلك؟ من الواضح أن عدم التناسب هو قضية فلسفية، إنها لم تعتمد استخدام قوانين القياس في الفيزياء العملية. وفي كثير من المجالات في الفيزياء الراهنة يجمع الفيزيائيون التوصيفات الكلاسيكية والكمية ويسمون النماذج الناتجة شبه تقليدية. وعلى ذلك، فعدم التناسب هو مجرد قضية فلسفية؟ إن الإجابة الظاهرية هي بالنفى. إنها تصعّد السؤال ما إذا كان ولماذا يكون التجريب المعتاد لتمديد الكميات التقليدية المعروفة إلى نطاق ما دون الذرة، أمرًا منطقيًّا؟ وأى إجابة يجب أن تعطي بدلالة مفاهيم فيزيائية.

وفى النطاق الكمى، يكمن مفتاح حل مشكلة اللا مقياسية فى فهم أن الجوانب الإجرائية والبديهية والمرجعية للمفاهيم الفيزيائية مآلها الفشل. ومع ذلك، فمن وجهه النظر البديهية نجدها تنتمى إلى بعضها البعض. وبعد الإشارة إلى ذلك على سبيل المبدأ في الفقرة (٥-١)، سوف أقوم بتحليل

---

(١) المرجعان Kuhn 1962. و Kuhn 1970.

مكتبة الفكر الجديد

نظرية القياسات غير المتجانسة لفيزياء الجسيمات. إنها تعكس التركيب الطبقى للظواهر التى تم عرضها فى الفصل الثالث. إن الطبقات تتصل ببعضها من خلال مقاييس الطول والزمن والكتلة. لقد تهت شرعنة هذه الروابط منطقية من خلال مبدأ تعميمي للتناظر يُضفي ترابطًا وتكرارًا على نظرية القياس غير المتجانس فى فيزياء الجسيمات فقرة (٥-٢). على أية حال، لا يزال الغموض يكتنف مسألة ما إذا كان التناظر بين التوصيفات الكلاسيكية والكمية يبقى على مستوى مسارات الجُسيم الفردية. إن تحليل بيانات تجارب تشتت الطاقة العالية تجمع قوانين كلاسيكية وكمية بطريقة بالغة التميز. لقد أضيفت تصحيحات كمية احتمالية لقوانين تقليدية وهى بدورها قد طبّقت على آثار مسارات فردية. كيف يعمل هذا؟ سوف نرى كما رأينا فى حالة معاملات الشكل سلسلة من النماذج تبنى تناظرًا بين حسابات كمية وصورًا كلاسيكية فقرة (٥-٣).

وفي الحقيقة، إن العديد من المبادئ الموحدة تدعم نظريات القياس لفيزياء الجسيمات وتطبيق نظريات الكم على آثار مسارات الجسيمات ووقائع التشتت. ويتخللهم مبدأ تناظر عمومى اقترحه "هايزنبرج" عام ١٩٣٠، وهو "تماثلات وما يقابلها من قوانين حفظ" ومبدأ أن قوانين الفيزياء ثابتة بعديًا. والمبدأ الأخير مبدأ قوى؛ إذ يعود إليه إنشاء المقاييس للكميات الفيزيائية والطريقة الإرشادية في التحليل البعدى. كل هذة المبادئ الموحدة تعمل من رأسها حتى قدمها في تعارض واضح مع منهج اللا تماثل الذى يعطي شرحًا من أخمص القدمين حتى الرأس، على الرغم من أنها فقط على المستوى الاحتمالى فقرة (٥-٤). وعلى كلٍّ، فهذه المبادئ تجعل من الممكن أن ننشئ

مكتبة الفكر الجديد

مقاييس للكميات الفيزيائية. عندئذ، نواجه للمرة الثانية جدلية مبدأ الإنشائية. إن وحدة مقاييس الطول والزمن والكتلة هي بناء النظرية. ولكن هل هي مجرد بناء (فقرة ٥-٥)؟ هنا تكترث الأسئلة الصارمة بالمدلولات اللفظية. فعلى المستوى الاحتمالي تتسق المدلولات اللفظية على نحو صارم مع نظرية الكم. وعلى مستوى آثار مسارات جسيمات فردية وأحداث التشتت فشروط المدلولات اللفظية الأضعف هي التي تم استيفاؤها، وفي الحقيقة، هناك حاجة للتناظر كجسر مبدئي يجعل من الممكن تطبيق نظرية الكم على النظم الفردية.

٥-١ اللامقياسية والقياس

كيف يمكن أن ننشئ لغة فيزيائية موحدة تتغلب على الشقاق اللفظي للنظريات غير المتوافقة؟ طبقًا لوجهة نظر "توماس كون" في الثورات العلمية، فالنظريات الداخلة في قياس جسيمات ما دون الذرة تتميز باللا مقياسية. إن قياس جسيمات ما دون الذرة الذي بدأ مع قياس النسبة التقليدية (الشحنة إلى الكتلة) بواسطة "طومسون"؛ أي قبل أن تلوح في الأفق ثورة الكم. فطرق القياس التقليدية ونتائجها أدت إلى ثورة الكمّ. ولكن العديد من قوانين من طرق القياس التقليدية أبقت على ثورة الكمّ وأضيفت إليها قوانين كمية جديدة بدلاً من استبدالها. وعلى مستوى الممارسة الفيزيائية فإن النظريات المنافسة للا مقياسية كون لا تُمثل في واقع الأمر منافسة تُذكر. وعلى العكس تمامًا، لقد ظلت حية في تعايش سلمي على مر عقود من الزمان.

مكتبة الفكر الجديد

بُنيت فرضية كون في اللا مقياسية على التماثل بين الرياضيات والعلم التجريبي. فهو يزعم أن النظريات المتنافسة التى تختلف فى التركيب ليس لها قياس مشترك. وهم فى لا مقايستهم كالزاوية القائمة والوتر فى المثلث القائم الزاوية. وإذا أخذنا المصطلح "قياس" على جانب الفيزياء لهذا التماثل حرفيًا، فمن الممكن أن نربطه بمعنى الكميات الفيزيائية المعرفة ضمنيًا بواسطة قوانين نظريات بديهية متنافسة. ومن وجهة نظر بديهية، فإن الممارسة التجريبية لدمج قوانين تُستمد من نظريات لا مقايسية أمر بعيد عن الوضوح.

وطبقًا لكون، فاللا مقياسية لها ثلاثة أوجه: تغير فى القضايا التى يحاول العلماء حلها، وتغير فى معنى المفاهيم النظرية البالغة الأهمية وتغير فى العالم الذى يتم فيه تجريب العلم. وهنا سوف نهتم بتغير المعنى وما يرتبط به من قضايا انتقالية ركز عليها كتاب "كون" عام ١٩٦٩[١]. إن النظريات المتنافسة ترتبط بنظم تختلف فى تصنيفاتها فى اعتبارها للظواهر. وفى الحقيقة، فقد رأينا فى الباب الثانى أن كل ظواهر الفيزياء الحديثة هى بالفعل قد تأسست بنظرية ما. ولنرجع إلى مناقشة مسارات الجسيمات. ففى الميكانيكا التقليدية تحسب على أنها تجريبية. (تُمثل مسارات الأجسام السماوية أفضل تجسيد لها) وفى ميكانيكا الكم لا تحسب كذلك: إن آثار مسار جسيم ليس إلا تتابع قياسات مواضع. إن "كون" محق تمامًا فى الزعم أنه من الممكن جزئيًا فقط التواصل بلغة متعادلة حول دليل مشاهد أو تجريبى.

---

(١) المرجع Kuhn 1970. ص (١٩٨-٢٠٤) مقارنة بالصفحات (١٤٨-١٥٠) وانظر أيضًا ص(٢٠٦-٢٢٢) من المرجع Hoyningen – Huene 1993. .

مكتبة الفكر الجديد

وباتباع عمل "كوين" عن النسبوية الأنطولوجية، فهو يجادل فى أنه نتيجة للمفهوم المعتاد (التارسكي) للحقيقة كمقابل لما هو "موجود بالفعل" أمر لا يمكن الاستمرار فى الدفاع عنه[1]. وفى الحقيقة، فإن أى تغير جوهرى فى الأسس المفهومة لفرع من فروع المعرفة يثير قضايا مهمة للواقعية العلمية وأهم ما فى هذه القضايا هو ما نحن بصدد تناوله هنا، فقضايا علم الوجود قد ظهرت بثورة الكم. إن اللا مقياسية تحاجّ الواقعية العلمية عامة بإنكار إمكانية وجود لغة علمية فريدة. فإذا لم يكن هناك لغة يمكن بها عبور الفجوة بين النظريات المتنافسة، يكون "كون" محقًّا فى زعمه أنه ليس ثمة إمكانية لتفسير أي النظريات تشير إلى الحقيقة ولا تفسير لماذا تكون إحداها أقرب من غيرها للحقيقة.

إن قوانين الفيزياء التقليدية ونظرية الكم يختلفان اختلافًا بينًا فى المدلولات اللفظية الفيزيائية. فالمدلولات اللفظية للفيزياء التقليدية مرتبطة بالمقاييس المعروفة للطول والزمن والكتلة. والمدلولات اللفظية لنظرية الكم مرتبطة بالتفسير الاحتمالى الأدنى غير المثير للجدل، والذى طبقًا له يكون المعنى الفيزيائى فقط لدالة الموجة فى ميكانيكا الكم (أو المحتوى التجريبى للنظرية) يقع فى القيم المتوقعة لمشاهدات ميكانيكا الكم. هذا الخلاف فى المدلولات اللفظية له نتائج وجودية مهمة. ولإيضاح الأمور فالمدلولات اللفظية وعلم الوجود يجب أن تتباين كما يلى.

---

(١) انظر كون ١٩٧٠، ص٢٠٦: "أعتقد أنه ما من سبيل مستقل عن النظرية يؤدي إلى إنشاء عبارات من قبيل "واقعيًّا هناك"؛ ففكرة الانسجام بين أنطولوجيا النظرية ونظيرها "الواقعي" في الطبيعة يبدو لي الآن مضللاً من حيث المبدأ".

مكتبة الفكر الجديد

إن المدلولات اللفظية لنظرية فيزيائية هى المعنى الفيزيائى غير المثير للجدل لكمياتها. وهنا فالمصطلح "غير مثير للجدل" يتعلق بالمجتمع العلمي للفيزياء وبالتجريب الفيزيائى بالإضافة إلى الممارسة التقنية. (المعنى المتفق عليه للكميات الفيزيائية مُدرج في النظام الدولى للوحدات الفزيائية). إن المدلولات اللفظية تشمل المزاعم الميتافيزيقية الأضعف من الأنطولوجية.

إن علم الوجود لنظرية فيزيائية هو النطاق الذى يقترحه وأنواع الكيانات التى يرجع إليها[١]. وعلم الوجود فى الفيزياء الكلاسيكية يتكون من جسيمات وموجات فى الفراغ والزمان. وعلم الوجود فى فيزياء الكمّ غير واضح. وطبقًا للتفسير الاحتمالى الأدنى فعلم الوجود لنظرية الكم ليس إلا دوال موجية احتمالية وقيم نظرية توقعية كمية تعبّر عن احتمالات مشروطة. ومقارنة بجسيمات كلاسيكية أو موجات فهذا وجود ضعيف. ولذلك وبتجاوز التفسير الأدنى غير المثير للجدل، فعلم الوجود لنظرية الكم عرضة لجدل غير منته فى تفسير دالة الموجة لميكانيكا الكم ولتنوع مذهل فى تكّوين وجودى مخترع[٢]. وهناك اختلاف شكلى حاد يقابل اختلافات مدلولات الألفاظ قى النظريات الكلاسيكية والكمية. إن كميات الفيزياء الكلاسيكية يتم تمثيلها بدوال حقيقية القيمة ولكن الكميات فى ميكانيكا الكم يتم تمثيلها بمعامل قيم مقاسة[٣]. وتجريبيًّا، ترجع الكميات الكلاسيكية لنظريات فردية ولكن

---

(١) يقابل هذا تفسير "كواين" للأنطولوجيا. وفقًا لكواين أن توجد هو أن تكون قيمة لمتغير مُتعين؛ انظر كواين ١٩٥٣، ص١٥.

(٢) انظر الملحوظة ١ عاليه.

(٣) انظر على سبيل المثال: بوش وآخرون، ١٩٩١، ص١٠-١١.

مكتبة الفكر الجديد

مشاهدات ميكانيكا الكم ترجع إلى تجميعات احتمالية؛ أى إلى نتائج قياس عديدة تم الحصول عليها تحت الشروط العملية نفسها وبالطبع فإن هذا الخلاف فى المدلول بين النظريات يتحول إلى قوانين القياس للنظريتين. وبالطبع فهذا الخلاف فى المدلول هو حالة قوية من اللا مقياسية في رؤية "كون"[١]. وفى الحقيقة، سوف نرى فيما يلى أن هذا هو العائق الأساسى لوحدوية المدلول فى الفيزياء.

هل اللا مقياسية بهذه التداعيات الدرامية حقيقية؟ يتفق معظم الفزيائيين على أن تغيرًا فى أسس المفاهيم في العلم يغير نظرة عالمنا تغييرًا دراميًّا. ولكن معظمهم لن يتفق أبدًا على أن الثورات النظرية تستبعد وجود مصطلحات بها يمكن صياغة التغير فى المفاهيم الفيزيائية وبها يمكن مقارنة التداعيات التجريبية للنظريات. ولقد كتب "ريتشارد ب. فينمان" (الذى لا يشك فرد فى أنه تأثر كثيرًا بفلسفة العلم الاحترافية) عن التغير فى معنى الكتلة عند التحول إلى الميكانيكا النسبوية:

> "[...] نحن مخطئون تمامًا من وجهة النظر الفلسفية فيما يتعلق بالقانون التقريبى. ويتعين أن تتغير صورتنا عن العالم بأسرها حتى إن كان تغير الكتلة طفيفًا [...] فحتى الأثر الصغير أحيانًا ما يتطلب تغيرات عميقة فى أفكارنا"[٢].

تؤكد هذه الكلمات فرضية "كون" في اللا مقياسية جزئيًّا فحسب.

---

(١) انظر شايبه ١٩٩٩، ص١٧٤.

(٢) فينمان وآخرون، ١٩٦٣-١٩٦٥، المجلد الأول، ص١-٢.

مكتبة الفكر الجديد

ويفرّق "فينمان" بين المضمون الفلسفى لقانون ما ولغة الفيزياء التي يتم استخدامها للتعبير عنه. وعلى غرار "كون"، يؤكد فينمان أن منظورات العالم المرتبطة بالميكانيكا اللا نسبوية والنسبية الخاصة مختلفة تمامًا، حتى إن كانت القوانين المتكافئة تُستمد من كلتا النظريتين بشكل تقريبي. ومن جهة أخرى، فهو يتحدث عن الكتلة التى تتعرض إلى تغير صغير فى المقدار عندما نعبر من الوصف اللا نسبوى إلى الوصف النسبوى للحركة. ويخبرنا تفسير "كون" للثورة العلمية أن هذه الأوصاف تستند إلى مفاهيم لا مقايسية. فالكتلة اللا نسبوية ثابتة فى حين أن الكتلة النسبية تعتمد على سرعتها فى إطار محكوم بالقصور الذاتي. وبالتالى فقد يرتاب المرء في أن "فينمان" حين الحديث عن الكتلة يستخدم المفهوم استخدامًا مبهمًا.

وفى الممارسة العلمية، على أي حال، يبدو المفهومان أنهما يعملان بتوافق سابق التجهيز. لقد دأب الفيزيائيون على استخدام المفاهيم اللا نسبوية والمفاهيم النسبوية للكتلة على مرّ عقود دون اصطدام بارتباك أو بخلطٍ وغالبًا ما يستخدمون المفهومين فى آن واحد. وحتى فى إطار الثورة الكمية، تتغلب الممارسة العلمية بشكل ما على قضايا المدلول التى تأتى باللا مقياسية فى أن نظرية القياسات الجارية فى فيزياء الجسيمات تربط القوانين اللا نسبوية والنسبوية والكلاسيكية والكمية. إن مقياس الكتلة يغطى كل قيم الكتلة لأى جسم فى البنية الذرية التحتية أو الميكروسكوبية أو فى النطاق الكونى. يفترض الفيزيائيون أن المقياس يمثل طبقة من الخواص الفيزيائية لأشياء مادية وأجزائها. إنهم يعطون قيمًا لكتلة الإلكترونات وكرات البلياردو والثقوب السوداء. وهم إذ يفعلون ذلك يفترضون أن هذه الأرقام تمثل كميات فيزيائية قابلة للقياس.

مكتبة الفكر الجديد

وليس بالضرورة على أي حال أن نفسّر هذه الممارسة العلمية على أنها قضية فى مواجهة رسالة "كون" فى اللا مقياسية. وقد يستشهد الفرد ببحثه عام ١٩٦١ "وظيفة القياس فى علم الفيزياء الحديث". فبمجرد أن تكون الظواهر قابلة للقياس، وجب أن يكون للنظريات المتنافسة محتوى تجريبيًّا متشابها على وجه التقريب. فتنبؤاتها الكمية يجب أن تتفق على وجه التقريب فى العديد من الظواهر المشاهدة. إنها تتنافس فقط حول ما هو شاذ فى النظريات المتنافسة. وهكذا طبقًا لوجهات نظر "كون" فقد وضعت القياسات قيودًا شديدة القوة على تطور النظرية. فنتائج القياسات ترغم التنبؤات الكمية للنظريات التي تتميز باللا مقياسية على الاقتراب من بعضها البعض قدر الإمكان. وبالتأكيد هو لن يقول: إن على النظريات أن تقترب من الحقيقة.

لقد أصاب "كون" فى اللامقياسية وعلى أغلب الاحتمال فى خداع الحقيقة بالنظريات التى اكتمل نضجها. ولكنه على أى حال يقلل فى تقديره للقدرة الموحدة للغة التى تصاغ بها القياسات. وهناك من وراء القياس ما هو أكثر من النظم البديهية وعدم اكتمالها المنطقى وأعدادها الكميّة المتوافقة. إن للقياسات جوانب إجرائية وبديهية ومرجعية لا يمكن فصلها عن بعضها البعض كما أوضحت نظرية القياس التجريبية[١]:

---

(١) انظر كرانتس وآخرون ١٩٧١. إن نظرية القياس التجريبي بوصفها كذلك محايدة من الناحية الميتافيزيقية؛ انظر فالكينبورج ١٩٩٧، والملحق (أ). إنها نظرية بديهية تتعامل مع البنية الصورية التجميعية للعمليات التجريبية. وفى المقابل إنها تؤدى الى ظهور نظرية القياس المُجرد التي تمثل الآن فرعًا من الرياضيات التطبيقية؛ انظر نارينز ١٩٨٥.

مكتبة الفكر الجديد

١- إن لها أساسًا عمليًّا يؤدى إلى ترتيب تجريبى واضح المعالم للظواهر.

٢- إنها تعتمد على البديهيات التى لها من القوة ما يكفى لتحديد التمثيل العددى لهذا الترتيب.

٣- إنها تعطى انطباعًا عن الزعم المرجعىّ؛ لأن البديهيات وتمثيلها العددى يعبّران عن الأسس الإجرائية بطريقة تجريبية مقبولة.

لقد جنحت وجهات النظر التقليدية حول معنى الكميات الفيزيائية إلى المبالغة فى التأكيد أو التقليل من قدر هذه الجوانب للقياس. وبهذه الطريقة فقد خطت بخطوات ثابتة نحو نظرات ميتافيزيقية أحادية الجانب حول الكميات الفيزيائية. وهذا هو السبب وراء تفرقها بشكل جوهرى. إن تعاريف نيوتن للكتلة من حيث المبادئ كان مرجعيًّا، فقد عرف الكتلة على أنها حاصل ضرب الحجم فى الكثافة، ويعقل هذا الأمر فقط إذا كانت الكثافة معرّفة بدلالة عدد الجسيمات الكتليّة فى وحدة الحجوم. ومن الواضح أن هذا البيان يتجاوز أكثر المزاعم المرجعية تواضعًا فى النظرية الحديثة للقياس التجريبى. إنها ترجع إلى الكيانات غير المشاهدة مثل الذرات. وعلى وجه الخصوص، فإن تعريف نيوتن للكتلة يستخدم ضمنيًّا مبدأ لا تجريبيًّا وصولاً إلى أفضل البيان وهو المسمى بقانونه الثالث (قاعدة التعقل)[١]. وتقضى القاعدة رقم ٣ بأن الكميات الضخمة الموجودة فى كل الأجسام التى يمكن الوصول إليها تجريبيًّا ممكن أن تُعزى إلى كل الأجسام وكذلك إلى الأجزاء الصغيرة فى الأجسام وصولاً للذرات. وعلى النقيض، وطبقًا لتعليق "نيوتن" على المبدأ رقم ٣

---

(١) نيوتن ١٦٨٧، ص٧٩٥-٧٩٦.

مكتبة الفكر الجديد

فالحجم والكتلة للأجسام الماكروسكوبية هما مجموع الحجم والكتلة للذرات التى تكون هذا الجسم. وهكذا فى التحليل الأخير كان "نيوتن" يقترح أن تعرّف الكتلة بدلالة وحدات ذرية وبرابطة حديثة وأن تعرف كتلة الأجسام بدلالة كتلة البروتون. إن تعريف الكتلة بدائرة المبادئ هو دائريٌ فقط إذا كان مفهوم الكثافة الذى أُسس عليه مستمدًا من مرجع لعدد الذرات فى حجم معين.

لقد كان "ماخ" على وعى بهذا عندما انتقد مفهوم "نيوتن" للكتلة[1]. فقد انتقد مبدأ "نيوتن" للذرة من وجهة نظر عالم تجريبى. فخلال عام ١٨٨٣ لم تكن الذرات محل مشاهدة بشكل دقيق ولا بشكل عام. لقد كان ذلك يتطلب تعريفات إجرائية واقترح أن تعرّف الكتلة بدلالة العجلة المتبادلة الناتجة من الأجسام فى نظام جاذبية.

وبينما يكون تعريف الكتلة مطلقًا إذا تم فهمه بدلالة الوحدات الذرية، فإن تعريف "ماخ" لها نسبى. إنه يعطى تعريفًا نسبيًّا للكتل فقط. لقد كان تعريف "ماخ" الإجرائي للكتلة نموذجًا لتعريف "أينشتين" الإجرائي "للتزامن" فى بحثه الشهير عام ١٩٠٥ عن النسبية الخاصة. لقد تأثر بدوره، كل من "باولى" و"هايزنبرج" و"بور" فى نظرتهم حول ميكانيكا الكم، بتعريفات "ماخ" و"أينشتين" الإجرائية؛ لقد صيغت ميكانيكا المصفوفات فى مجرد اصطلاحات إجرائية؛ مثل الطاقة واستقطاب الضوء الذى تصدره الذرة. إن محاضرات "كومو" التى ألقاها "بور" هى التى وضعت أسس تفسير "كوبنهاجن" لميكانيكا

---

(١) انظر ماخ ١٨٨٣، ص٢١٠-٢١١.

مكتبة الفكر الجديد

الكمّ كما يتضح فيها بجلاء، التوازى مع النسبية الخاصة لـــ"أينــشتين"[١]. وعلى أى حال، فكل من التعريفات الإجرائية قد تمت صياغتها بنــاء علــى قانون قياس ذات أسس بديهية، وإلا انتهى بنا المطاف إلى المبدأ الراديكــالى (المتطرّف) للإجرائية الذى طبقًا له يعرّف كل قانون قياس مختلــف كميــة مختلفة[٢]. وسوف يؤدى هذا إلى شقاق كامل فى الفيزياء، ولن يكــون مــن الممكن تعريف مقاييس لكميات فيزيائية. ولم يدافع "أينشتين" عن الإجرائيــة الصارمة. إنه لم يكن سعيدًا بالأسس الإجرائية لميكانيكا الكــم ولا بتفــسير "كوبنهاجن". وبالمخالفة لميكانيكا المصفوفات لــ"هايزنبرج"، فقد زعم أنهــا يجب أن تكون النظرية هى التى تخبرنا بما يجب قياســه ولــيس بطريــق آخر[٣]. لقد اعتقد أن النظرة البديهية لمفاهيم فيزيائيــة بدائيــة والتعريفــات الإجرائية يجب أن تبنى عليها. ففى بحثه عام ١٩٠٥، عن النسبية الخاصة، قام ببناء تعريفه الإجرائي "للتزامن" على أساس المبدأ الرائد الذى كان يطلب المزيد من المناهج العامة من أجل توحيد الميكانيكا التقليدية والكهروديناميكا. لقد عمل متطلب التوحيد كقيد نظرى يخبر الفرد بما يمكن قياسه من وجهــة نظر أكثر عمومية، هى انتشار الضوء بــدلاً مــن الحركــات الميكانيكيــة للساعات. على أي حال، فالمنهاج البديهى الذى طوره "هلبرت" قد اقترح أن

---

(١) بور ١٩٢٨. يجب التنويه هنا أن تفسير "كوبنهاجن" يتكون من وجهات نظر فلسفية غير صورية قام كل من "بور" و"هايزنبرج" و"باولى" وغيرهم بربطها بميكانيكا الكم في التفسير الاحتمالي المعتاد لبورن – فون نيومان. والأنسب تسمية الأخير بالنظرة الأرثوذكسية. علاوة على ذلك يجدر بنا أن نذكر أن ما يُدعى تفسير كوبنهاجن يدين في وجوده إلى هايزنبرج بأكثر مما يدين لبور نفسه؛ انظر هوارد ٢٠٠٢.

(2) Bridgman 1928.

(٣) انظر Heisenberg 1969, P. 91-92.

مكتبة الفكر الجديد

المفاهيم الخاصة لا يمكن تعريفها بالصراحة التى تم بها تعريف مبادئ "نيوتن"؛ بل تم تعريفها فقط بدلالة البديهيات[1]. وطبقًا لذلك، فالمفاهيم الحركية للكتلة والقوة والسرعة والعجلة قد تم تعريفها ضمنيًّا بواسطة بديهيات الميكانيكا التقليدية (قانونىّ "نيوتن" الثانى والثالث، وتوابعهما، ومعادلات "لاجرانج"، أو معادلات "هاملتون" للميكانيكا التحليلية)[2]. وأخذًا بكل ما سبق، فإن وجهات النظر هذه، مرة أخرى، توضح أن النظرة المرجعية أو البديهية مأخوذة، كل على حدة، هى متحيزة، وتربطها الممارسة الفيزيائية. إن القضية هى أنه حتى يومنا هذا، لا تزال الملامح المرجعية أو البديهية للمفاهيم الكمية متباعدة. بدا ذلك أولاً من خلال الأسس الإجرائية لميكانيكا المصفوفة لـ"هايزنبرج" وعدم اتفاق " أينشتين" معها. ولم تحل القضية منذ ذلك الوقت. وبالتحديد، فقد بقيت لمفاهيم فيزياء الجسيمات. إن أثر الخواص الفيزيائية فى جسيمات ما دون الذرة لم تؤسس على نظرية موحدة؛ بل على العديد من النظريات غير الإجرائية. إن المفاهيم الحالية لجسيمات ما دون الذرة لها مظاهر بديهية تتحدر من نظرية مجال الكمّ، ومظاهر إجرائية تستند إلى قوانين قياس تقليدية وإلى جوانب مرجعية غير واضحة.

٥-٢ نظرية القياس غير المتجانسة

فى حين تكون مشاهدة آثار مسارات الجسيمات على لوح فوتوغرافى ممكن أيضًا لـ"ليمان"، فإن تحليل بياناتها تستخدم نظرية قياس بالغة التعقيد. ونظرية القياس هذه اليوم هى تركيب غير متجانس لقوانين تنتمى إلى

---

(1) Hilbert 1918, Bernays 1922.

(٢) انظر Schmidt 1993.

مكتبة الفكر الجديد

نظريات مختلفة في بنائها وهي ذات لبّ تقليدي. إنها تتكون من قوانين ميكانيكا تقليدية نقطية ومتعلقات علم الحركة المجرّدة النسبوية التي تعمل على وصف مسارات الجسيمات. وعلى مستوى آثار مسارات الجسيمات الفردية، يضاف إلى اللبّ التقليدي لهذه الفروض، حول مسارات الجسيمات الفردية، تصحيحات كهروديناميكية كمّية جاءت من احتمالات انتقالية لعمليات تشتت دون ذرية. ولقد تم تنقية نظرية القياس بقوانين الحفظ للمقادير الكمية مثل المغزلية و"الندية" ونظير المغزلية. وعلى مستوى نظام تجميعي، تندرج كل هذه القوانين في نظرية تشتت لميكانيكا الكمّ وتستكمل بصياغات شبه تقليدية لمعاملات شكل متضامنة مع قوانين كمية لانحلالات الرنائن. بهذه الطريقة، ترتبط نظرية القياس التقليدية لجسيم نقطي بعدة قوانين تنحدر من نظرية تشتت لميكانيكا الكمّ وترتبط الأخيرة بفروض شبه تقليدية حول التوزيع الشحني الذي يصف التركيب الكهروديناميكي لمركز تشتيت. إن نظرية القياس لفيزياء الجسيمات هي شبه تقليدية، حتى يومنا هذا إذ إن تركيباتها الأساسية ما يلي:

١- قانون قوة "لورنس" التقليدية:

$$F = (q/c)(E + v \times B)$$

ويربط هذا الكتلة m والشحنة Q لجسيم تقليدي بسرعته v وعجلته F/m في مجالين كهربي ومغناطيسي E و B.

٢- متعلقات علم الحركة المجرّدة النسبوية. وتصف هذه الانتشار "الزماني-المكاني" لجسيم عالي الطاقة ويتطلب أن تتبع تفاعلاته قوانين حفظ الطاقة وكمية الحركة.

مكتبة الفكر الجديد

٣- عدد كبير من القوانين الظواهرية. والعديد من هذه (مثل قانون المدى-الطاقة التجريبى) قد جاء من تجارب على أساس نموذج جسيم تقليدى. ويطلق الفيزيائيون على مثل هذه القوانين اسم "شبه تجريبية"[١].

٤- قوانين الحفظ الميكانيكية الكمية للمقادير الكمية مثل المغزلية و"الندية" ونظير المغزلية. وترتبط هذه الكميات، طبقًا لنظرية "نويزر" بتماثلات الديناميكا الكمية لجسيمات ما دون الذرة.

٥- قوانين استنفاذ الطاقة وانعطاف الجسيمات المشحونة فى المادة. وتستند هذه إلى نظرية تشتت كم ميكانيكية وعلى وصف كهروديناميكى كمّى للتأين والكبح وخلق الأزواج والتشتت المتعدد[٢].

٦- القوانين الإحصائية لحساب الترددات النسبية لوقائع التشتت ذات طابع ديناميكى معين والمقطع المؤثر لتفاعلات جسيماتها[٣].

٧- مقاطع التشتت الكمّ ميكانيكية لجسيمات نقطية أو غير مركبة. وقد وصفت سلسلة المعادلات الخاصة بالنماذج فى الفقرة (٤-٤) مقاطع تشتت "رذرفورد" وتشتت "موت" وتشتت "ديراك" على البروتون... إلخ.

٨- معادلة "برايت-فجنر" للطاقة المتوسطة وسمك الرنين. وينبع هذا من نظرية الانحلالات الكمية وتربط الطاقة وسمك الرنين بالكتلة وفترة العمر لحالة ميكانيكا كم غير مستقرة[٤].

---

(١) انظر رذرفورد وآخرون ١٩٣٠، ص٢٩٤، وأيضًا الفقرة (٣-٤).

(2) Perkins 2000. و Rossi 1952. و "Particle Data Group" 2004.

(3) Cowan & "Particle Data Group" 2004.

(٤) انظر بركينز ٢٠٠٠، ص٥٥-٥٨، مقارنة بـ"جولدبرجر" و"واطسون" ١٩٧٥، الفصل الثامن، والفقرة (٣-٣-٤).

مكتبة الفكر الجديد

الفرض الإحصائى رقم (٦) يأتى من نظرية احتمالات. أما باقى نظرية القياس فهى تجميعة من تعدد قوانين معينة مبنية على الميكانيكا النقطية التقليدية ومتعلقات علم الحركة المجردة النسبية وميكانيكا الكم غير النسبوية والكهروديناميكا الكمية ونظريات مجال الكم الأكثر حداثة. ونظرية القياس غير المتجانسة هذه، تعكس بوضوح البناء الطبقى للظواهر التى تم وصفها فى الفقرة (٣-٣). وبالإضافة الى ذلك، فهى تعكس أيضًا نمو المعرفة الأساسى الموثوق عبر التطور التاريخى لفيزياء الجسيمات. بادئ ذى بدء، لقد كانت هناك القوانين الكلاسيكية (١) و(٢) التى تصف مسارات الجسيمات المنفردة وعمليات التشتت. فهى ترجع إلى المرحلة الأولى للصياغة النظرية للمشاهدات الأساسية لفيزياء الجسيمات؛ بمعنى أنه كانت قوانين القياس الوحيدة المتاحة فى الأيام الأولى من تأسيس علم الكهروديناميكا الكمّى. ثم أتت بعد ذلك القوانين الظواهرية أو نصف التجريبية (٣). وفى الوقت الذى اختلطت الأمور فيها حول آثار مسارات الأشعة الكونية وكشف هوية الجسيمات فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين، فقد أنتجت أساسًا تجريبيًّا مستقلاً لعلم الكهروديناميكا الكمى (الفقرتان ٤-٤ و٥-٤). ثم تم تقديم المزيد والمزيد من قوانين الحفظ الميكانيكية (٤)؛ حيث ساعد تطبيقها على عمليات التشتت فى إفراز نظام فى مجال الجسيمات فى الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين. وبعد الستينيات أوردت تجارب التشتت ذات الطاقة العالية عددًا كبيرًا من المسارات التى تم تحليلها بطرق إحصائية. ومن أجل الحصول على قياسات عالية التحديد للمقاطع المؤثرة، أخذنا فى الاعتبار الطاقة المفقودة والتشتت

مكتبة الفكر الجديد

المتعدد للجسيمات المشحونة داخل المادة (٥) واستعنا بطرق التحليل الإحصائية الراقية (٦). ولقد أصبح ذلك فى الإمكان بعد قبول الكهروديناميكا الكمية كعلم ونظرية تم الإقرار بها. ثم أضيفت أخيرًا المعادلتان (٧) و(٨). وقد أسسوا على نظرية التشتت الكم ميكانيكية ونظرية المجال الكمى ومثلهما كمثل القانونين (٥) و(٦) تطبق فقط على المستوى الاحتمالى.

ولعل من المفيد أن نرى أيًّا من هذه المفاهيم والقوانين تنتمى إلى المستوى الفردى وأيها ينتمى إلى المستوى الاحتمالى. إن كل الكميات الناتجة من آثار مسارات الجسيمات وعمليات التشتت تنتمى إلى الوقائع الفردية، وهذا مستوى تقليدى فى الأساس. والكميات القابلة للقياس لمسار جسيم هى الكتلة وكمية الحركة الرباعية والشحنات. وبالإضافة إلى ذلك، فالاعتبارات التقليدية تفترض أن طول المسار يقابل الطول المستغرق لجسيم مستقرّ أو فترة العمر لجسيم غير مستقر. والكميات الممكن قياسها لعمليات تشتت هى الكميات المحددة لمسارات الجسيم المنفرد بالإضافة إلى كميات عديدة مستمدة منها باستخدام قانوى الحفظ (٢) و(٤)، المسمّاة "نظير المغزلية" و"الشحنة المفرطة" وكميات ديناميكية أخرى؛ مثل "الغرابة" و"الفتنة"... إلخ، وهى المتعلقة بالتماثلات الداخلية للجسيم ونظريات المجال الكمى ذات المعيار الثابت، على التوالى. هذه الكميات الديناميكية هى شحنات عمومية. وهى ترتبط فى النموذج القياسى الحالى لفيزياء الجسيمات بقوة الاقتران للتفاعلات الكهربية الضعيفة والقوية.

وبالتالى فكل الكميات التى تنتمى إلى نظرية الكم تعتبر احتمالية. فهى من الممكن أن تعزى إلى المستوى التجميعى؛ بمعنى الترددات النسبية

مكتبة الفكر الجديد

المقاسة لمسارات الجسيمات وعمليات التشتت الناتجة من وابل الجسيمات المعدّة من مستوى كمّى جيد التحديد. ولعلّ أهم كمية ممكن قياسها هى المقطع المؤثر. وباعتبارها كمية تجريبية، فالحصول عليها يكون بإحصاء التردد النسبى لعمليات تشتت ذات طابع ديناميكى معين. وباعتبارها كمية نظرية، فيتم حسابها بنظرية المجال الكمى من خلال عنصر مصفوفة S المقابلة لتفاعل الجسيم. وهكذا، فى التنبؤ بالمقطع المؤثر لتفاعل جسيم أو ما يقابله من التردد النسبى لوقائع تشتت، تلقى كل من نظرية المجال الكمّى ونظرية الكم أسسهما التجريبية[1]. ويكمن قياس مقطع وراء قياس معامل شكل وكذلك قياس رنين. وفى الصورة التقليدية فمعامل شكل هو قياس احتمالى لحجم مركز التشتيت. والرنائن ليس لها ترابط تقليدى واضح (ومع ذلك فالمصطلح له أصل تقليدى أيضًا). إن متوسط الطاقة وسمك الرنين هما قياسان احتماليان للكتلة وفترة العمر لحالة كمّية غير مستقرة.

كيف تناسب القوانين التقليدية والكمية، على التوالى، المستويات الاحتمالية؟ إن نظرية الكم لا تتوافق مع مسارات الجسيمات التقليدية. إن انتشار الجسيمات التقليدية أمر يحتّمه الفرضان (١) و(٢)، وتتبع نظرية الكم للتشتت من الفروض (٥) و(٧) و(٨). وفى القانونين (٣) و(٥) يتشابك المستويان، الفردى والاحتمالى. وهناك روابط بين القوانين الكلاسيكية والكمية، فهى تجعل من الممكن تطبيق نظرية الكم للتشتت، تحت شروط معينة، على مسارات الجسيمات الفردية. فمن ناحية، هناك قوانين كمية تناظر تمامًا القوانين الكلاسيكية. ومن ناحية أخرى، هناك قواعد اختيار راقية

---

(١) الملحق C.

مكتبة الفكر الجديد

للكميات المحفوظة مثل "المغزلية" و"النديـــة" وخلافـــه. والتنـــاظر وقواعـــد الاختيار الراقية تصلح لمسارات الجسيمات فى النطاق غير النسبوى؛ أى فى الطاقة المنخفضة للتشتت.

إن الاتفاق الدقيق لمعادلات "رذرفورد" التقليدية والكمية تصل بسلاسة نظرية ميكانيكا الكم للتشتت بنظرية القياس التقليدى المعروفة للجسيمات. هذا الاتصال السلس قائم بوضوح على المستوى الاحتمالى. ويصلح التناظر التام للترددات النسبية لانحرافات الجسيمات. وعلى المـــستوى الاحتمـــالى فـــإن الصياغة التقليدية لقوة "لورنس" يتم الحصول عليها بتقريب من ميكانيكا كـــم أيضًا طالما كان المجالان الكهربى والمغناطيسى ضعيفين بالمقارنة بمجالات ما دون الذرة[1]. لقد بدا فى الأيام الأولى لميكانيكا الكم ما يبرر تمديد هـــذا التناظر للميكانيكا الكلاسيكية، وتمديد الميكانيكا الكمية من المستوى الاحتمالى إلى مستوى مسارات الجسيمات الفردية. وفى كتابـــه عـــام ١٩٣٠ صـــاغ "هايزنبرج" نصًّا عامًّا لمبدأ التناظر لـــ"بور" يقترب من المعتقد التالى:

> إن مبدأ التناظر لـــ"بور" يطرح تشابهًا تفصيليًّا بين نظرية الكم والنظرية التقليدية تناسب الصورة الذهنية العاملة. هذا التشابه لا يخدم فقط كدليل فى اكتشاف القوانين الـــشكلية؛ بـــل إن قيمتـــه المتميزة هى أنه يؤسس تفسير القوانين التـــى وجـــدت بدلالـــة الصورة الذهنية المستخدمة[2].

---

(1) Mott & Massey 1965.

(٢) هايزنبرج ١٩٣٠ب، ص١٠٥. تم عرض المبدأ بشكل مختلف في النسخة الألمانية؛ انظر ترجمتي لهذه الجزئية في الفقرة (٥-٤-٢).

مكتبة الفكر الجديد

وسوف يتم تحليل المبدأ وما يتضمنه بالتفصيل لاحقًا[1]. ويجب فقط أن نذكر هنا أنها تدعم الثقة فى وحدة الفيزياء المبنية على تطبيقات نظرية الكم والنظريات التقليدية. وهذه الثقة تجعل الفيزيائيين يعتقدون أن الاحتمالات الانتقالية الناتجة من نظرية ميكانيكا الكم للتشتت تنطبق أيضًا على عمليات التشتت على طول مسار جسيم منفرد.

وفى المدى غير النسبوى فإن هذه الثقة تكون منطقية ولا تسبب أى إشكالية. بينما فى المدى النسبوى فالأمر مختلف على أي حال. فتحليل البيانات لمسارات الجسيمات توضح مرة أخرى ما تمت ملاحظته بالفعل. ولا تنهار الصورة التقليدية فى جملة واحدة، إنها تنهار بالتدريج[2]. وتعتمد الممارسة التجريبية فى تحليل مسارات الجسيمات على هذا الاعتقاد. وفى الحقيقة، هو يستند تجريبيًا إلى علاقة المدى والطاقة التى تنتمى إلى قوانين نصف تجريبية (٣). فمن الممكن قياس مدى الجسيمات ذات طاقة معينة فى معجّل جسيمات بمساعدة كشاف يعمل كهدف ثابت. والقياس يبحث فى كيفية ارتباط متوسط طاقة جسيم بمدى هذا الجسيم وطول أثر مساره داخل المادة. ومثل هذا القياس يجعل من الممكن اختبار تنبؤات الكهروديناميكا الكمية حول الطاقة المفقودة مباشرة؛ بمعنى أن قياس متوسط مسافة مدى الجسيم يمكن أن يقارن بالقيمة المتوقعة بحسابات ميكانيكا الكم للمدى الذى تتنبأ به الكهروديناميكا الكمية[3].

---

(١) انظر الفقرة (٥-٥).

(٢) انظر الفقرة (٤-٤) و(٥-٣).

(٣) انظر الفقرة (٥-٣-٣) والهامشين ٢٠ و٢١.

مكتبة الفكر الجديد

من هنا كان لنظرية قياس الجُسيمات الفيزيائية ملامح مميـزة. إنهـا ليست فقط غير متجانسة، ولكنها أيضًا زائدة؛ أي أن قوانين الكهروديناميكـا الكمية التي تدخل القياسات تدعمها قوانين شبه تجريبية. وتُتيح هذه القـوانين شبه التجريبية الاختبار المنفصل للصياغات الكهروديناميكية الكمية. وكما هو موضح بالفقرة (٣-٤) و(٣-٥)؛ فخلال مرحلة تدعيم تجارب الكهروديناميكا الكمية كالتي قام بها أندرسون، فقد بُذلت جهود حقيقية لتحديد كتلة الجُسيمات وشحنتها عن طريق تحسينات إجراءات قياس شبه تجريبية مستقلة من هـذا القبيل. وبعد عبور مرحلة تدعيم الكهروديناميكا الكمية، بقيت المناهج شـبه التجريبية في نظرية القياس. وحتى يومنا هـذا فإنهـا تُتـيح إمكانيـة أداء فحوصات اتساق متعددة على القياسات. وكل ما أُجري من قياسات حتى الآن أكد أن نظرية القياس المعروضة عاليه متسقة. إن تجميعة القوانين الكلاسيكية وقوانين الكم تُعطي نتائج قياسات كمية متسقة، حتى إن كانت القوانين الكمية على النطاق النسبوي لم تعد مستمرة على مستوى المسارات الفردية ولكـن فقط على المستوى الاحتمالي للكثير من مسارات الجُسيمات.

وبذلك تكوّن نظرية القياس لفيزياء الجُسيمات بنيـة غيـر متجانـسة لقوانين القياس التي تحتوي على زوائد وتعطي نتائج كميـة متـسقة علـى المستوى الاحتمالي. إنها تستحق المقارنة بخيال إيان هاكينج عن فيزياء يكون كل قانون فيها محددًا قدر الإمكان، ولا قوانين مكررة، وأي قانونين يكونـان غير متسقين مع بعضهما البعض:

مكتبة الفكر الجديد

إن الله لم يكتب كتاب الطبيعة على النحو الذي تصوره الأوربيون القدماء. لقد كتب ... كل كتاب فيها مُختصر قدر الإمكان، وإن كان كل كتاب منها غير متسق مع غيره من الكُتب. فليس ثمة كتاب مُكرر. ثمة مدخل للبشر إلى الطبيعة مع كل كتاب، يُتيح على سبيل الحصر فهم ما يجرى[1].

إن قوانين القياس لفيزياء الجسيمات متميزة بعناية عن ذلك البناء المتشقّق تمامًا. إنها تكوِّن نظرية. ونظرية القياس هذه بالغة الإسهاب. وأجزاؤها الغزيرة متناسقة كميًّا على الرغم من عدم القابلية للتطبيق. وعلى عكس جموح "هاكنج" البرجوازى، فهى تشير إلى أن محتويات كتاب طبيعة من الممكن صياغته بلغة متناسقة إذا استطعنا أن نتحدث بها.

٥-٣ مسارات الجسيمات

لقد وضعت أسس هذه القياسات المتنوعة الوفيرة المتناسقة فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين. وفى خلال تحليل مسارات أشعة كونية أضيف القانونان (٣) و(٥) إلى القانونين (١) و(٢). وقد قام كل من "بيث" و"بلوخ" و"هيتلر" فى أوائل الثلاثينيات بحساب القانون (٥) الذى يتناول الطاقة المستنفدة على طول مسار الجسيم على أساس نظرية تشتت الكم ميكانيكية لـ"بورن" وبحث "موللر" حول التشتت والكهروديناميكا[2]. وبسبب

---

(1) Hacking 1983.

(٢) المراجع:

Born 1926. و Bethe 1930.Moller 1931.Bethe 1932. Bloch 1933.
Heitler and Sauter 1933. Bethe and Heitler 1934.

مكتبة الفكر الجديد

العديد من الأسباب، لم يثق أحد فى كهروديناميكا الكمّ فى الثلاثينيات، ولم تستعمل المعادلات (٥) فى التحاليل التى أجريت لمسارات الأشعة الكونية فى ذلك الوقت. وقد دخلت نظرية القياس لفيزياء الجسيمات أخيرًا بعد أن تم تأكيد صلاحيتها من خلال قياسات تمت بطرق مستقلة قائمة عن القوانين نصف التجريبية التى أجريت فى الأربعينيات من القرن العشرين[١]. وتعتبر معادلات استنفاذ الطاقة احتمالية حقًا. ومع ذلك فقد أصبحت ممارسة عملية لتنطبق على المسارات الفردية للجسيمات. وفى الحقيقة، كل الحسابات التى تمت الإشارة إليها آنفًا مبنية على الثقة فى مبدأ "بور" للتناظر أو فى نسخته المعدلة. وفى الحقيقة أيضًا، فقد أوضح "موت" وهايزنبرج" فى عام ١٩٣٠، أن ميكانيكا الكم للتشتت لـ"بورن" قد تنبأت بمسارات جسيمات ذات شكل تقليدى. وهكذا، فقد تمت حسابات الطاقة المفقودة من الجسيمات المشحونة فى المادة على أساس بدائى نصف تقليدى وبصورة صادقة لواقعية ما دون الذرة. إن الفروض التى تقوم عليها تعطى بصيرة نافذة لثقة الفيزيائى فى وحدوية مستترة في الطبيعة، وأسباب مبرراتها وحدود هذه الثقة. وكحالة معامل الشكل، هناك سلسلة من النماذج التى تثبّت تناظر الحالة التقليدية والحسابات الكمية[٢]. وللمرة الثانية، توضح هذه السلسلة من النماذج أن فى نطاق ما دون الذرة فإن الصورة التقليدية للواقعية لا تنهار فورًا ولكن تنهار فقط خطوة بعد خطوة. على أي حال، فالدراسة اللاحقة أكثر هشاشة؛ إذ إنها تتناول المسارات الفردية للجسيمات فى حين التفسيرات الاحتمالية لنظرية

---

(١) الفقرتان (٣-٤) و (٣-٥).

(٢) انظر الفقرتين (٤-٣) و (٤-٤).

مكتبة الفكر الجديد

الكم تعمل على المستوى التجميعى. ومن وجهة نظر فلسفية، فالسؤال الحاسم حول الطاقة المفقودة هو: ما الكم التجميعى الذى تطبق عليه نظرية الكم للتشتت؟[١].

٥-٣-١ تنبؤات "موت" حول المسارات التقليدية

بعد تطوير ميكانيكا الكم بفترة قصيرة، اتضح أن تولد مسارات الجسيمات فى غرفة "ويلسون" متفقة تمامًا مع نظرية ميكانيكا الكم للتشتت. وكما أكّد "هايزنبرج" فى كتابه عام ١٩٣٠ عن ميكانيكا الكم، أن احتمال انحراف جسيمات "ألفا" نتيجة التأين المتعدد فى الضباب ليس صفرًا، فقط إذا كان الخط الواصل بين جزيئين يسير موازيًا لاتجاه سرعة جسيمات "ألفا"[٢].

وقد أجرى "موت" الحسابات المناظرة للمرة الأولى فى عام ١٩٢٩ [٣]؛ حيث قامت على أساس ميكانيكا الكم للتشتت بواسطة "بورن" عام ١٩٢٦ وهى الإطار النظرى لتفسير "بورن الاحتمالى لنظرية الكم[٤]. وطبقًا لنظرية

---

(١) الأجزاء المتعاقبة مبنية على المرجع Falkenburg 1996. فى التالى أرجو أن أقدم تحليلاً أكثر وضوحًا لهذه القضية محل الدراسة وأن أصحح بعضًا من أخطائى السابقة.

(٢) هايزنبرج ١٩٣٠أ، ص٥٣ (بترجمتي)؛ انظر هايزنبرج ١٩٣٠ب، ص٧٠.

(3) Mott 1929.

(٤) Born 1926a&b. لقد تم تعميم التفسير الاحتمالى فيما بعد وتم وضعه بصيغة أكثر وضوحًا بواسطة "فون نيومان" انظر Von Neuman 1932. وفى المناقشة الحالية قلما يؤخذ بحث "بورن" الثاني عام ١٩٢٦ فى الاعتبار. (ومن ثم تهمل أهمية نظرية التشتت لميكانيكا الكم فى تفسير ميكانيكا الكم). وقد تمت مناقشة أجزائها الصورية فى المرجع Jammer 1966 ، وهو يحوى – إضافة إلى ذلك – أفكارًا تخمينية غير=

مكتبة الفكر الجديد

ميكانيكا الكم للتشتت فالتشتت ليس نتيجة تصادم ولكن نتيجة حيود. وعلى وجه التحديد فالوصف الكم ميكانيكى للتشتت يفتقر إلى المسار التقليدى للجسم المنحرف وما يقابله من متغير التصادم التقليدى. أما مربع دالة الموجة فهى تتنبأ فقط باحتمال (وبالتالى، التردد النسبى) لاكتشاف الجسيم عند زاوية تشتت معينة، كما أوضح "بورن" فى بحثه ١٩٢٦. وقد قام "موت" بحساب احتمال تصادمين متتاليين لجسيم "ألفا" وذرة هيدروجين بتأثير تأين كل من الذرتين؛ إذ إن الذرتين المتأينتين تنتجان نقاطًا يمكن مشاهدتها. فهم قلب القطرات التى تتكاثف فى غرفة "ويلسون" السحابية. ومشاهدة قطرة يعتبر قياس موضع. بينما يعتبر رصد انحراف الجسيم الذى تعطيه الخطوط المرسومة بين القطرات المتجاورة قياس كمية حركة. وقد أوضح "هايزنبرج" فى كتابه عام ١٩٣٠، باعتبار غير مسبوق أن علاقة اللا تحديد للموضع وكمية الحركة تسرى على أى تأين يحدث على طول مسار الجسيم. وبسبب الحجم المحدود لجزيئات القطرات فى غرفة "ويلسون" فلا يمكن للموضع وكمية الحركة أن يكونا قاطعين[1]. وعلى ذلك، فتفسير ميكانيكا الكم لقياس

=صورية حول تفسير الدالة الموجية وهو ما تم نقده في: Jammer 1974. انظر أيضًا: Beller 1999.

(١) انظر هايزنبرج ١٩٣٠أ، ص١٨؛ ١٩٣٠ب، ص٢٤. يستخدم هذا الموجه المساعد على الكشف (انظر هامش الفصل السابع – المترجم) مبدأ التناظر. وهو – مع ذلك – مدعوم بالميكانيكا الموجية التى توظف مبدأ "هيجنز". وتبلغ عدم الدقة فى قياس الموضع لنقاط قياس منفرد لمسار جُسيم ونسبة الخطأ فى قياس كمية حركة تم الحصول عليها من مسار منحني لجُسيم ما باستخدام صيغة قوة "لورنتس" قدر اثنتي عشرة رتبة (أي مرفوعة للأس ١٢) لقيمة علاقة عدم التحديد لـ"هايزنبرج".

مكتبة الفكر الجديد

نقطة واحدة على مسار جسيم يناظر تمامًا الصورة التقليدية للجسيم. وهو يختلف فقط عن المسار التقليدى فيما لا يمكن مشاهدته، وهو المسار التقليدى لقياس موضعين. وهكذا، لكل الأغراض الإجرائية هو يقرّ بمسار تقليدى لجسيم. وبهذه الطريقة، فهو يؤكد تطبيق نظرية ميكانيكا الكم للتشتت على مسارات الجسيم المنفرد.

إن حسابات "موت" احتمالية، لم تأخذ فى الاعتبار نتائج القياسات المنفردة؛ بمعنى التغير المتقطع لدالة الموجة التى تقابل المشاهدة لنقطة فى الرذاذ. إنها تنفّذ فى ميكانيكا الكم دون قياس. وطبقًا لذلك، تتشتت دالة الموجة عند ذرتين على مسافة R. وتقرّ نظرية "بورن" فى ميكانيكا الكم للتشتت بوجود حيود دالة الموجة. وتعطى الدرجتان، الأولى والثانية لنظرية الاضطراب نوعين مختلفين من الإسهام للموجة المشتتة. وكلاهما نتيجة تشتت غير مرن عند كل من الذرّتين. ويعنى التعبير "غير مرن" هنا "طاقة مفقودة". وتساوى الطاقة المفقودة طاقة التأين. ولا يؤدى التصادم المرن إلى تأيّن. وهكذا لا تؤدى إلى قطرات يمكن مشاهدتها فى غرفة "ويلسون". وطبقًا للدرجة الأولى من نظرية الاضطراب، تؤيّن ذرة واحدة بعد التشتت، والتشتت الثنائى يجب أن يتكون من عمليتىّ تشتت منفردتين غير مترابطتين تعطيان إسهامين مستقلين غير متداخلين للموجة المشتتة. وبذلك، يشمل إسهام الدرجة الأولى إضافة ضعف احتمال التشتت عند مجرد ذرة واحدة. ومن خلال حد الدرجة الثانية تتأين كل من الذرتين فورًا فى التشتت المترابط. ونتيجة "موت" الرئيسة هى أن كلا النوعين من الإسهام يقرّ مسارًا تقليديًّا. فلدرجة الأولى، تتركزّ الموجة الخارجة فى شكل مخروطى، زاوية رأسه

مكتبة الفكر الجديد

صغيرة، خلف الذرة المتأينة، فى اتجاه الموجة القادمة. ولدرجة ثانية، فالإسهام غير منعدم فقط إذا وقعت الذرتان فى داخل هذه الزاوية فى الإتجاه نفسه[1].

وبالتعميم إلى عدد N من الذرات فنتائج "بورن" توحى بالآتى: لدرجة أولى، فاحتمال التشتت يكافئ N من المرات قدر احتمال تشتت غير مترابط عند ذرة واحدة. أما التشتت المترابط عند أكثر من ذرة فهو يسهم فى الدرجة الثانية والثالثة و..... والدرجة N. وعلى كل حال، ولأى درجة، فالموجة المشتتة تنتشر على طول المسار التقليدى.

إن نتائج "موت" مستوحاة كلية من مبدأ "بور" للتناظر ونصه المعدّل بواسطة "هايزنبرج" المدرج سابقًا فى الفقرة (١-٥). إن ميكانيكا الكم لمسار جسيم يناظر مسارًا تقليديًا. ولنكن أكثر تحديدًا، فميكانيكا الكم للتشتت تقرّ بوجود تجميعة للمسارات الممكنة التى تكون متشابهة الأغراض الإجرائية والتى تناظر مسارًا تقليديًا. وهذا الإقرار يرسّخ تناظرًا بين الميكانيكا التقليدية وميكانيكا الكم على مستوى المسارات الفردية. إن احتمال انحرافين متتابعين لجسيم على طول خط مستقيم يختلف عن ١ بقيمة بالغة الصغر يمكن إهمالها لكل الاعتبارات الإجرائية. ولذلك، فمن الممكن التغاضى عن أى تأثير فى القياس المؤدى إلى مشاهدة قطرة فى الضباب.

---

(١) انظر المراجع موت ١٩٢٩؛ وهايزنبرج ١٩٣٠أ، ص٥٦، و١٩٣٠ب، ص٧٥-٧٦. إن عرض "هايزنبرج" لنتائج "موت" أكثر وضوحًا من رواية المراجع الدراسية لها. انظر على سبيل المثال ميسيا ١٩٦٤، الفقرة (١٩-٣-١٠ و١١). والشكل الكلاسيكى لمسار الجسيم يتم شرحه من إسهام من الرتبة الثانية بفصله بشكل مضلل من المناقشة السابقة عن التشتت غير المترابط من الرتبة الأولى، وهو الإسهام السائد لأسباب واضحة.

مكتبة الفكر الجديد

وما يجب أن يذكر هنا أن حسابات "موت" ١٩٢٩ قد بنيت على مثالية بعيدة عن الواقعية. فلم تؤخذ الطاقة المفقودة نتيجة التأين فى الاعتبار. لقد تم وصف الجسيم كما لو لم ينقل أى طاقة لذرة الهيدروجين عند تأيينها. وعلى الرغم من أن الحسابات تتناول سعات لتصادمات غير مرنة، فإنها قد أجريت كما لو كانت حالة كمية الحركة ظلّت غير متأثرة بالطاقة المنتقلة لذرة الهيدروجين، وهى الطاقة التى نتج عنها التأين؛ ومعنى هذا أن جسيم "ألفا" الذى قام بعمليات تأين متتابعة، وقطرات مرئية فى الضباب، قد تم التعامل معه كما لو كانت التصادمات مع ذرات الهيدروجين تصادمات مرنة. ومن المسلّم به فهذه المثالية غير الواقعية (والتى ما هى إلا إهمال لكمية الحركة المنتقلة) تبدو معقولة إذا لاحظنا أن الطاقة التى يفقدها جسيم ألفا بسبب تأيين ذرات هيدروجين يمكن إهمالها. فطاقة التأين للهيدروجين صغيرة جدًا بالمقارنة بطاقة الحركة لجسيم ألفا. وعلى ذلك تبقى كمية الحركة دون تغير عمليّ على طول مسارها فى غرفة "ويلسون".

على أى الأحوال، ففيما يتعلق بالعلاقة المستورة بين الميكانيكا التقليدية وميكانيكا الكم فالمقدار المهمل يعتبر مصيريًا. وبتذكر رأى "فينمان" الموضوع فى الفقرة (٥-١): فنظرية ميكانيكا الكم للتشتت تقرأ كما يلى: "إن صورتنا الكاملة للعالم عليها أن تتغير على الرغم من أن كمية الحركة تتغير بكميات صغيرة". إن عملية التأين التى تنتج قطرة مرئية هى قياس. إنها تتبع لا يقين "هايزنبرج" فى أن كمية الحركة لجسيمات ألفا بعد التأين غير حاسمة. وبالإضافة إلى ذلك، فهى غير قابلة للسير فى عكس الاتجاه مرتبطة بطاقة مستنفذة. وإذا أهملنا هذا الفقد فى الطاقة، فسنعتبر أن كمية الحركة ثابتة على طول المسار. ويمكن وضع هذه الحقيقة بشكل آخر، فمن المفترض أن حالة

مكتبة الفكر الجديد

الجسيم بعد قياس أى موضع ما زالت تنتمى إلى تجميع معين للحالة الابتدائية لكمية الحركة، أو أن إعداد جسيم "ألفا" لا يتغير على طول المسار أو أن القياسات قابلة للإعادة. وهذا الفرض ينافى بوضوح حقيقة أن المسار المرئى هو نتيجة لانتقالات متتابعة مرتبطة بقياسات غير قابلة للإعادة وبطاقة مستنفذة على طول المسار. وهذه مسألة مبدأ، على الرغم من أن نتائج حسابات "موت" تظهر أن المثالية لها من الصلاحية ما يكفى كل أغراض الممارسة.

على أى حال، فقد تم مد مظلة هذه الشروط المثالية، يبدو أن الوصف التقليدى والكمى لمسار يتفقان لأى تتابع لقياس نقطات، وأن النموذج التقليدى والكمى لمسار يبدوان فى انسجام سابق التجهيز ولا يهم عدم تطبيقيتهما. وهذا التناظر بين الحالة التقليدية والكمية لا يصلح فقط للمسارات المستقيمة للجسيم التى قام "موت" و"هايزنبرج" بحسابها؛ بل تصلح أيضًا للمسارات المنحنية فى مجال مغناطيسى. وتقرّ معادلة "شرودنجر" لوابل الجسيمات غير المتغير فى مجال خارجى ضعيف، انحراف الوابل التقليدى الذى وصفته قوة "لورنس"[1].

٥-٣-٢ حساب "بيث" للطاقة المفقودة

فى حالة حساب كمية الطاقة المفقودة بجسم على طول مساره، يتلاشى الاتفاق بين الوصفين التقليدى والكمى. ومع ذلك، فقد حفظت الصورة نصف التقليدية النقية لعملية التشتت على طول مسار مرئى، فى المعالجات النظرية التى تلت بعد ذلك، والتى تناولت الطاقة المفقودة من الجسيم المشحون داخل المادة. وطبقًا للصورة الحدسية التقليدية التى تكمن وراء هذه الحسابات حتى

(1) Mott & Massey 1965.

مكتبة الفكر الجديد

يومنا هذا، فإن الجسيم المشحون يفقد طاقته على طول مسار مقاس طبقًا لما يلى: يوالى الجسيم تباطؤ حركته بالتصادمات غير المرنة التى تحدث له مع ذرات الكشّاف، ويزداد تحدب مسار الجسيم فى مجال مغناطيسى خارجى وينتهى مسار الجسيم عندما تنتقل طاقته وكمية حركته بالكامل إلى ذرات مادة الكشّاف. وقد تم اكتشاف البوزيترون بناء على الأثر. ولتحديد نوع شحنة الجسيمات القادمة من الأشعة الكونية، قام "أندرسون" بقياس اتجاه تحليق الجسيم بوضع لوح من الرصاص فى غرفة "ويلسون". ويتسبب لوح الرصاص فى فقدان محسوس فى الطاقة ويؤدى إلى زيادة فى انحناء مسارات الجسيمات فى مجال مغناطيسى(١).

وقد تمت أولى الحسابات الجديرة بالثقة لهذه الطاقة المفقودة غير المهملة على يد "بيث" عام ١٩٣٠(٢). وقبل عام ١٩٣٠، كان هناك حساب واحد يسمى نظرية "بور" التقليدية للتأين بين الفترة ١٩١٣ حتى ١٩١٥. وكان من المعروف أن هذه الحسابات تعطى نتائج خاطئة للجسيمات السريعة(٣). إن متناظرة "بور" تفشل، بصفة عامة، فى معالجة الطاقة المفقودة على طول مسار الجسيم. إن حسابات "بيث"، ١٩٣٠، للطاقة المفقودة نتيجة إثارة وتأيين ذرات مادة الكشاف تعطى صياغة تتفق مع نتائج "بور" التقليدية فقط فى مدى السرعة والطاقة المفقودة اللتين توشكان على الانتهاء(٤). تلك

---

(١) انظر الفقرة (٣-٤).

(2)Bethe 1930.

(3) Bohr 1913a&1915

(٤) تختلف النتيجتان فى أحد الحدود باعتماد لوغاريتمى على السرعة . فتحتوى معادلة "بيذ" على الحد (ln v2) فى حين تحتوى معادلة "بور" على (ln v3)، انظر المرجع Bethe 1930. الملحوظة الخامسة. وهكذا يحدث التقابل فقط عندما تؤول السرعة إلى=

مكتبة الفكر الجديد

السرعة والطاقة المفقودة اللتان تؤولان إلى الصفر هما بالضبط الحالة المثالية التى أجرى "موت" حساباته بمقتضاها.

فى عام ١٩٣٠ قام "بيث" بنشر ورقة بحث حول الطاقة المفقودة بالجسيم المشحون فى المادة. وأجرى هذه الحسابات فى إطار نموذج نصف تقليدى. وقد أضاف هذا النموذج بعض الفروض التقليدية حول عمليات التشتت الفردية على طول مسار الجسيم وذلك إلى ميكانيكا "بورن" الكمية للتشتت. وسنعطى المعالات هنا فى تدوين عصرى، وقد أجريت الحسابات فى إطار نظرية الاضطراب-مستقلة الزمن: فقبل التشتت يمكن وصف الجسيم المشحون بالحالة الكمية:

$$\varphi_k(r,t) = e^{i(kr-\omega t)} \qquad (5.1)$$

وهى عبارة عن موجة مستوية كمية حركتها P وعددها الموجى $k = \frac{2\pi p}{h}$ وترددها الزاوى $\omega = \frac{hk^2}{2\pi m}$. وتشتت عند ذرة من مادة الكشاف بحالة كمية:

$$\varphi_0(r,t) = \Psi_0 e^{-i\frac{2\pi i}{h}E_0 t} \qquad (5.2)$$

حيث يرمز إلى الحالة الدنيا للذرة. وقبل التشتت (الذى يبدأ عند زمن صفر)، لا يكون الجسيم المشحون وذرة مادة الكشاف فى حالة ارتباط. وللزمن $t_{ot}<<$ ، تتفكك دالة الموجة للنظام المتحد (الجسيم والذرة) إلى:

=الصفر. وبالتأكيد تعطى معادلة "بور" الكلاسيكية نتائج صحيحة تقريبًا فى حالة الجسيمات الثقيلة البطيئة، انظر المرجع .Jackson 1975 الفقرة (١٣-٣).

مكتبة الفكر الجديد

$$u(r,t) = a_0(k)\varphi_k \otimes \varphi_0(r,t) \qquad (5.3)$$

وتقول الكتب المرجعية بتعبير أخّاذ عن بداية عملية مقاربة، إن التفاعل "يدار مفتاح تشغيله" عند الزمن $t = t_0$. ويكون عند ذلك الجسيم الساقط وذرة الكشاف نظامًا مركبًا. ولزمن $t_0t>$ ، تنمو دالة الموجة للنظام المركب طبقا لمعادلة "شرودنجر" المعتمدة على الزمن كما يلي:

$$u(r,t) = \sum_{n,k} a_n(k,t) \quad \varphi_k(r,t) \otimes \varphi_n(r,t) \qquad (5.4)$$

وتعطى السعات المعتمدة على الزمن $a_n \quad (k,t)$ للنظام المرتبط بنظرية الاضطراب المعتمدة على الزمن. حتى ذلك الحين لم يكن "بيث" قادرًا على استخدام هذه النظرية بصوت مسموع؛ لأنه لم يكن لديه توزيع δ حينئذ. بعد التفاعل؛ أى عندما $t_0<<t$، من المفترض أن يصبح الجسيم حرًّا. وعند البحث عن الجسيم عند زمن t_1، تختزل دالة الموجة إلى مركبة فردية $\varphi_q(r,t) \otimes \varphi_n(r,t)$ حيث $q = \frac{k}{2\pi}(k)$k- هو كمية الحركة المنتقلة بين الجسيم والذرة وأن n تميز حالة الإثارة للذرة خلال التصادم غير المرن. وعند زمن $t_1 \geq t$ تأخذ الموجة المختزلة أو الحالة الكمية المختصرة إلى الشكل:

$$u_{n,q}(r,t) = a_n(q,t_1)\varphi_q(r,t) \otimes \varphi_n(r,t) \qquad (5.5)$$

وتعتمد دالة الموجة هذه فقط على الحالة n للذرة وكمية الحركة المنتقلة q ولم تعد معتمدة بعد على كمية حركة الجسيم الساقط p. ومعنى هذا أن الاحتمال الانتقالى لكمية معينة من الطاقة المفقودة لا تعتمد على كمية حركة

مكتبة الفكر الجديد

الجسيم المشحون الساقط. وهذا أمر فاصل، إنه يجعل الوضع مشابهًا لحسابات "موت" مبررًا بالإدراك المتأخر المثالية التى أسس بها "موت" نموذجه. ففى نموذج "موت"، قد تم إهمال كمية الحركة المنتقلة. ويتضح هنا أنه لا يؤدى دورًا فى حسابات الطاقة المفقودة. وبذلك يتضح أنه لا توجد هناك مشكلة فى تجاهل تأثير القياس ولتطبيق النتائج على حسابات مسارات الجسيم المنفرد. وتعطى سعة التشتت للموجة الحائدة بالسعة $a_n(q,t_2)$، الخاصة بالحالة المختزلة $u_{n,q}(r,t)$ عند الزمن، t_2، الذى يتم الكشف فيه عن الجسيم:

$$a_n(q,t_2) = c(q,k)V_{on}^{*}\delta(w - w_0) \qquad (5.6)$$

و V_{on} هنا هو عنصر مصفوفة انتقال الذرة من المستوى الأرضى φ_0 إلى مستوى الإثارة $\varphi_n(t)$ ويضمن الحد $\delta(w - w_0)$ حفظ الطاقات الكلية w'، w_0 للجسيم ونظام الذرة قبل التشتت وبعده، على التوالى.

ويرتبط معدل الانتقال لكل جسيم ساقط فى وحدة الزمن، T ، أو بمعنى آخر، $\frac{d\sigma}{dq}$ ، ارتباطًا مباشرًا بسعة التشتت. ويصبح هذا المقدار، بعمل التسوية المناسبة وبصياغته كدالة فى كمية الحركة المنتقلة، كما يلى:

$$\frac{d\sigma_n(q)}{dq} = |a_n(q,t_2)|^2 \qquad (5.7)$$

ويستبدل الحد σ الحالى للمقطع بدالة "بورن" $\varphi_n(q)$ وهى دالة كمية الحركة المنتقلة وحالة الإثارة n للذرة. وهذه الصياغة المأخوذة من الورقة البحثية لـ"بورن" عام ١٩٢٦ عن ميكانيكا الكم للتشتت قد استخدمها "بيث" أيضًا.

مكتبة الفكر الجديد

ومن هذه النتيجة، قام "بيث" باستنتاج المعادلة الحاسمة للطاقة المفقودة من جسيم مشحون داخل المادة كما يلى[1]. مع اعتبار المعادلة احتمالية، فهى تعطى صياغة للقيمة المتوقعة الكم ميكانيكية:

$$\langle E_n - E_0 \rangle = \langle u_{n,q}(t)\ E_n - E_0 | u_{n,q}(t) \rangle \qquad (5.8)$$

للطاقة المنتقلة من الجسيم المشتت إلى ذرة مادة الكشّاف نتيجة إثـارة الذرة من الحالة الدنيا φ_0 الى الحالة رقم n وهى φ_n:

$$\langle E_n - E_0 \rangle = (E_n - E_0) \int \frac{d\sigma_n(q)}{dq} dq \qquad (5.9)$$

وللحصول على القيمة المتوقعة للطاقة المفقودة نتيجة انتقال الذرة إلى أى من مستويات الإثارة، فعلينا إضافة احتمالات كل الانتقالات من المستوى الأدنى الى أى حالة إثارة متفرّدة E_n أو إلـى التواصـل. ويمكـن كتابـة المجموع كما يلى[2]:

$$\langle E \rangle = \left(\sum + \int d\upsilon \right) (E_n - E_0) \int d\sigma_n(q) \qquad (5.10)$$

وطبقا للتفسير الاحتمالى المعتاد فى ميكانيكا الكم، فالمعنى الفيزيـائى للمعادلة يكون كالتالى: $\langle E \rangle$ هى متوسط الطاقة المفقودة لكـل ذرّة واحـدة ولكل جسيم من الجسيمات الساقطة (فى حـدود الوابـل الـلا نهـائى مـن الجسيمات القادمة أى $N_{in} \to \infty$). وهذا التفـسير ينطبـق علـى المـستوى

---

(١) بيث ١٩٣٠، ص٣٥١-٣٦٠.

(٢) انظر المعادلتين ٥٥أ و ٥٥ب فى: بيث ١٩٣٠، ص٣٥٩.

مكتبة الفكر الجديد

التجميعى، بمعنى على الجسيمات المعدّة بالحالة الكمية نفسها. وحيث إن كلا من القيمة المتوقعة وكذلك معدّلات الانتقال التى تؤثر فيه لا تعتمد على كمية حركة الجسيم، فيبدو أن كمية الحركة غير ذات أهمية. وعلى ذلك، فبالنسبة إلى الطاقة المفقودة، فالجسيم ينتمى إلى التجميع نفسه على طول مسار الجسيم.

وفى الحقيقة، فقد اعتقد "بيث" بما لا يدع مجالاً للشك أن المعادلة (5.10) تنطبق على كل تشتت على طول مسار الجسيم، سواء فى وجود أو عدم وجود تأثير مرئى. وقد جعل هناك خطوتين إضافيتين لتطبيق معادلته (5.10) على مسارات الجسيمات المنفردة. وبهاتين الخطوتين، يدخل الجزء التقليدى إلى تصميمه نصف التقليدى. فبدأ أولاً بحساب عدد التصادمات غير المرنة المرئية وغير المرئية على طول مسار $N\varphi$ ؛ حيث φ المعدل الكلى للانتقال و N هو عدد الذرات فى مادة فى وحدة الحجوم Δx^3[1]. وبعد ذلك أعطى صياغة بسيطة لمتوسط الطاقة المفقودة ΔE لكل طول Δx داخل المادة كما يلى[2]:

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} = N\langle E\rangle \quad (5.11)$$

حيث $\langle E\rangle$ هى الكمية المعطاة بالمعادلة (5.10) و N هو عدد الذرات فى مادة فى وحدة الحجوم Δx^3. وبإعطائه المعادلة (5.11) يزعم "بيث" أن القيمة المتوقعة $\langle E\rangle$ تحمل معنى متوسط الطاقة المفقودة بالجسيم المشحون بالتشتتات المتتابعة عند العديد من ذرات مادة الكشاف على طول

---

(١) بيث ١٩٣٠، ص٣٥٨.

(٢) بيث ١٩٣٠، ص٣٦٠، المعادلة (٥٦).

مكتبة الفكر الجديد

مسار منفرد، مطوّعة لعدد الذرات للمسار الواحد Δx. بمعنى أن المسار المنفرد يعتبر نابعًا من العديد من عمليات التشتت لجسيم فى حالة كمية تعود إلى التجميع الإحصائى نفسه.

وبالطبع لم يناقش "بيث" التفسيرات الفيزيائية لنتائجه ولا مبرراتها الفلسفية. لقد افترض ببساطة أن $\langle E \rangle$ تنطبق على التحولات الكمية اللاحقة المنفردة على طول مسار بغض النظر عما إذا كانت مرئية أم غير مرئية. ويندرج هذا تمامًا تحت نتائج "موت" شبه الكلاسيكية. فقد أوضحت بدرجة أولى أن احتمال التشتت للتأينات اللاحقة هى ببساطة مجموع التشتت المترابط عند ذرات عديدة، كل على حدة وأن حدود التشتت المترابطة ذات الدرجات الأعلى هى حدود مهملة. ومن الجدير بالذكر هنا أن حسابات "بيث" عام ١٩٣٠ قد أجريت بالدرجة الأولى لنظرة الاضطراب. وفى حسابات "موت"، ولأسباب واضحة، سادت إسهامات الدرجة الأولى غير المترابطة لسعة التشتت. واتفاقًا مع هذا، حافظ "بيث" على صورة بديهية نصف تقليدية واقعية لعمليات التشتت فيما دون الذرة. وقد بنى استنتاجه للمعادلة (5.11) على الفروض الضمنية الآتية:

(أ) خلال مرور الجسيم فى المادة، يقوم بإثارة وتأيين العديد من الذرات.

(ب) النقاط المقاسة المرئية على المسار هى نتيجة تأينات، ولكن هناك أيضًا طاقة مفقودة غير مرئية نتيجة الإثارة.

(ج) كل الإثارات والتأينات لذرات مادة الكشاف مستقلة عن بعضها البعض، كما أن لها احتمالاً يوصف بالكمية $\langle E \rangle$ طبقًا للمعادلة (5.10).

مكتبة الفكر الجديد

الفرضان الثانى والثالث حاسمان، فالفرض (ب) مبنى على إهمال تأثير القياس، بينما الفرض الثالث فهو مبرر بحقيقة أن إسهامات الدرجات العلى للترابط على التشتت صغيرة إلى درجة يكمن إهمالها.

وفى الحقيقة، قد كان من نتائج "بيث" المقدارية، النسبة بين التصادمات المرئية وغير المرئية. فالهيدروجين، يؤدى حوالىّ 28.5% من التصادمات غير المرنة إلى تأين مسببًا قطرات مرئية فى ضباب غرفة "ويلسون"(١). وتوضح الحسابات أن المقدار الأساسى من الطاقة المفقودة على طول مسار الجسيم فى غرفة "ويلسون" تقاس حقيقة، على النقيض من نموذج "موت" المثالى الذى فيه تهمل الطاقة المفقودة على طول المسار. وعلى أى الأحوال، فقد أنتجت حسابات "بيث" عام ١٩٣٠أيضًا بشكل مستتر، اعتماد $\langle E \rangle$ على كمية الحركة وهو ما يخالف مثالية "موت" وهو المهمل فقط فى للجسيمات السريعة. وهو ما يبدو الحد الأعلى q_{max} للتكامل الحاسم فى المعادلة(5.10):

$$\int d\dot{o}_n(q) = \int^{q_{max}} d\dot{o}_n(q) \qquad (5.12)$$

ولا يمكن أن يفقد الجسيم من الطاقة أكثر مما فقد. وهكذا، بزيادة مقدار الطاقة المفقودة على طول المسار، تتغير القيمة المتوقعة بالشكل $(E_{kin}/E_{kin}$ *lin)* مع مقدار الطاقة المتبقية E_{kin} (٢).

---

(١) المرجع ٤٥ ص ٣٦٠.

(٢) انظر نتائج " بيث" عن الهيدروجين؛ بيث ١٩٣٠، ص٣٦٠. وكذلك فالكينبورج ١٩٩٦، ص٣٤٩-٣٥٠.

مكتبة الفكر الجديد

وبهذا يصبح الوضع غير قابل للمقارنة مع نموذج "موت" المثالى الذى لا يتغير فيه نتائج إعداد الجسيم والقيمة المتوقعة على طول المسار. إن حالات الجسيم بعد قياس النقاط لا تصبح بعد ذلك تابعة للتجميع الكمّى بالنسبة إلى المقدار (E) حينما تتغير هذه الكمية على طول المسار مع تناقص كمية حركة الجسيم.

ولهذا السبب، يصبح من الواضح أن نموذج "بيث" نصف التقليدى للطاقة المفقودة فى المادة غير مترابط. فتتعارض القيمة المتوقعة الكم ميكانيكية (E) التى تم حسابها طبقًا للمعادلة (5.10) غير موافقة للتطبيق على القياس الفردى للنقاط على طول مسار طبقًا للمعادلة (5.11) فى ضوء التفسير الاحتمالى المعتاد (التجميعى) لميكانيكا الكم. وبفرض أن المعادلة (5.11) تعطى متوسط قيمة الطاقة المفقودة على طول مسار منفرد، اعتمد "بيث" على نتائج "موت" فى الحالة التى تتوافق مع الشروط المثالية لنموذج "موت". وفى إطار ميكانيكا كمّ دون قياس، هو يقوم بحساب معادلة تصلح للطاقة المستنفذة نتيجة قياس مواضع على طول مسار. وفى الحقيقة، وللجسيمات السريعة التى هى موضوع حسابات "بيث"، فذلك، وللمرة الثانية، هى مجرد مسألة مبدأ (على الأقل طالما كانت الجسيمات غير بالغة السرعة؛ أى ليس لها سرعات نسبوية). وحيث إن اعتماد المقدار (E)على كمية الحركة ضعيف جدًّا، فهذا النموذج غير المترابط يعمل بإتقان لكل الأغراض الإجرائية. وعلى ذلك حالات الجسيمات بعد قياس النقاط لمسار جسيم منفرد، تنتمى تقريبًا إلى التجميع الكمى نفسه بالنسبة إلى (E). وما يبدو غريبًا من وجهة نظر فلسفية يشبه تقريبًا جيدًا من وجهة نظر واقعية، بمعنى لطلب تجريب فيزيائى.

مكتبة الفكر الجديد

٥-٣-٣ كيف تنهار الصورة التقليدية

إن الحسابات التى قام بها كل من "بيث" و"موت" سابقًا صالحة فقط فى النطاق غير النسبى. وفقًا لحسابات "بيث" عام ١٩٣٠، فالطاقة المفقودة نتيجة التأين صغيرة وشكل مسار الجسيم سلس ومنتظم. وتنهار الصورة شبه التقليدية للجسيمات النسبية. وتقرّ ميكانيكا الكم الكهروديناميكية أن الجسيم لا يفقد طاقته بشكل منتظم. فبسبب التأرجح الكمى، فالطاقة المفقودة على طول مسار الجسيم تصبح غير منتظمة تمامًا وقد تحدث انحرافات بعيدة جدًّا عن المسار التقليدى. فالعديد من العمليات المتنوعة قد تؤدى إلى تأرجحات كبيرة فى الطاقة المفقودة. وبالإضافة إلى الطاقة المفقودة بالتأين، تقرّ ميكانيكا الكم الكهروديناميكية بوجود عمليات تولد أشعة الكبح وخلق الأزواج؛ أى انبعاث فوتون أو تولد إلكترون وبوزيترون، على التوالى. هذه العمليات مرتبطة بتأرجحات كبيرة فى الطاقة المفقودة على طول مسار الجسيم. تلك العمليات تحدث انعطافات غير منتظمة تخالف الشكل التقليدى للمسار الذى تنبأ به موت" فى ١٩٢٩ والذى افترضه "بيث" مسبقًا عام ١٩٣٠ فى حسابه للطاقة المفقودة.

إن الطاقة المفقودة بالتأين هى كمية صغيرة، بصفة عامة، إذا ما قورنت بطاقة الجسيم. وحسابات "بيث" ١٩٣٠ لا تتناولها على قدم المساواة مع طاقة الإثارة لذرات مادة الكشاف، فى إطار ميكانيكا كم التشتت لـ"بورن". فطاقة التأين هى طاقة إثارة إلكترون إلى حالة التواصل؛ أى إلى الحالة غير المقيدة للإلكترون الحر خارج الذرة. وطبقًا لنتائج "بيث"، فالتأين لا يؤثر بعد فى الشكل شبه التقليدى المنتظم السلس لمسار جسيم (على الرغم

مكتبة الفكر الجديد

من أنه يجب أن يؤثر فى الثقة فى التفسير التجميعى السليم لنظرية ميكانيكا الكم للتشتت). إن الطاقة المفقودة نتيجة أشعة الكبح أو خلق الأزواج هى مقدار جوهرى بالمقارنة بطاقة الجسيم. فهى تؤدى إلى فقدان فجائى لقدر كبير من طاقة حركة الجسيم المشحون عند نقطة من مسار. والمسارات الناتجة غير منتظمة. فهى ذات انعطاف ملحوظ. وبعد أن أوضح "مولر" كيف يمكن أن تندمج نظرية "ديراك" للإلكترون مع ميكانيكا الكم للتشتت عام ١٩٣١، مدد "بيث" و"بلوخ" و"هتلر" حسابات "بيث" إلى تلك العمليات التى تطيح كلية بالصورة التقليدية لمسار الجسيم. وتعتمد القيم المتوقعة الكم كهرومغناطيسية لعمليات التشتت هذه على طاقة الجسيم المشحون المار خلال المادة. وفى مدى طاقة الجسيم غير النسبوية تغلب عملية التأين بينما تهمل الترددات النسبية لأشعة الكبح أو خلق الأزواج. وفى النطاق النسبوى، يزداد تردد العمليات الأخيرة سريعًا بتزايد طاقة الجسيم[١]. وفى التحول من النطاق غير النسبى إلى النطاق النسبى، يضيع الشكل شبه التقليدى المنتظم السلس للعدد المتزايد لمسارات الجسيم الذى تنبأ به كل من "موت" و"بيث" عامى ١٩٢٩-١٩٣٠.

ولذلك، فمع ازدياد طاقة الجسيم ينهار التناظر بين أشكال مسارات الجسيم الفردى والحالة التقليدية خطوة وراء خطوة. وعند الطاقات المنخفضة جدًا للجسيم، فإن عمليات التشتت التى تحدث قطرات فى غرفة "ويلسون" قد تعتبر شبه مرنة؛ بمعنى أنه من الممكن إهمال كمية الحركة المنتقلة والطاقة المفقودة نتيجة التأين. وفى هذه الحالة، تتوقع ميكانيكا الكم لتشتت مسارات

---

(١) انظر روسي ١٩٥٢، ص٢٢-٢٧.

مكتبة الفكر الجديد

ذات أشكال تقليدية تامة للجسيم كما توضحها حسابات "موت" عام ١٩٢٩. إن حسابات "بيث" عام ١٩٣٠ تبين أنه فى الحدود $\lim v \to 0$؛ أى الحدود التى تتلاشى فيها السرعة v، يوجد تناظر متعادل مع حسابات "بور" التقليدية للطاقة المفقودة. وللجسيمات السريعة التى لا تصل إلى السرعات النسبوية، تنهار نظرية "بور" الكلاسيكية للتأين ولكن حسابات "بيث" شبه الكلاسيكية عام ١٩٣٠ للطاقة المفقودة بالتأين توضّح أن شكل مسار الجسيم فى النطاق غير النسبوى لا يزال يتوافق مع الصورة الكلاسيكية لكل الأغراض الإجرائية.

وفى النطاق النسبوى، من الممكن أن تتسبب التأرجحات الكمية فى طاقة مفقودة كبيرة نسبيًا غير متوقعة وفجائية. وبسبب هذا يخالف المزيد والمزيد من مسارات الجسيمات الصورة الكلاسيكية. ومع زيادة طاقة الجسيم، تزداد تكرارات المسارات المارقة ذات الانعطاف. ولذلك كانت المعادلات المستنتجة بواسطة "بيث" و"بلوخ" و"هتلر" فى الفترة بين عامى ١٩٣٢-١٩٣٤ للطاقة المفقودة للإلكترونات النسبوية نتيجة التأين وأشعة الكبح والأزواج المخلّقة، غير جديرة بالثقة بالنسبة إلى المسارات المنفردة. فهى تنطبق فقط على المستوى الاحتمالى للمسارات العديدة للجسيمات. فعلى المستوى الاحتمالى ينهار بالتدريج التناظر مع الوصف التقليدى لمسارات الجسيمات؛ إذ إنه بزيادة طاقة الجسيم يزداد عدد المسارات الحائدة غير المنتظمة غير السلسة والتى تنخفض دون معدّل السلوك. وتلك تخالف التوقعات شبه الكلاسيكية للمسارات المنتظمة السلسة المتتابعة لقياس النقاط المرئية التى تقابل الحالة الكلاسيكية عند الحدود التى تقترب سرعة الجسيم فيها من التلاشى. وبالتالى فللطاقة المتناقصة للجسيم، يستعيد التناظر وجوده

مكتبة الفكر الجديد

أو لا عند المستوى الاحتمالى بدلالة عدد متناقص من مسارات الجسيمات التى تتدنى تحت المعدّل المتوقع من الطاقة المفقودة.

وعلى أى الأحوال، فلا تزال معادلات الكهروديناميكا الكمية مرتبطة بالمفهوم شبه الكلاسيكى لـ"بيث" عن الطاقة المفقودة التى يرجع سببها إلى عمليات التشتت المتكررة على طول مسار فردى. وعلى وجه الخصوص، فهى ببساطة قد أدرجت فى صياغة "بيث" فى المعادلة *(5.11)* لمتوسط الطاقة المفقودة ΔE على طول Δx من المادة. وللمرة الثانية، هذا الإجراء له ما يبرره بإسهامات الدرجة الأولى غير المترابطة لميكانيكا الكم للتشتت. وحقيقة أنها تفرض ذاتها، ولا تجعل هناك أي بأس فى تطبيق مناهج تقليدية عند تحليل مسارات الجسيمات. لقد أدت حسابات "بيث" و"بلوخ" عامى ١٩٣٢ و١٩٣٣ إلى معادلات "بيث" و"بلوخ" لحساب متوسط الطاقة المفقودة للجسيم المشحون لكل طول مسار فى المادة التى تتكون من ذرات ثقيلة[١]. إن معادلات "بيث" و"بلوخ" تجعل من الممكن حساب قيمة نظرية لمتوسط مدى الجسيمات المشحونة خلال نوع ما من مادة الكشاف[٢].

٥-٣-٤ تحليل البيانات فى تجارب التشتت

بعد تماسك مفاهيم الكهروديناميكا الكمية، تم استخدام المعادلات شبه التقليدية التى نوقشت فيما سبق، فى تحليل مسارات الجسيمات. وعلى الرغم من انهيار الصورة التقليدية للطاقة المفقودة فى النطاق النسبى، فإنه قد أصبح

---

(١) المرجع Bloch 1933 وللحسابات نصف الكلاسيكية انظر المرجع ٥١.

(٢) المرجع ٥١.

مكتبة الفكر الجديد

من الممارسة التجريبية تطبيقها فى مسارات الجسيمات الفردية بروح حسابات "بيث" شبه التقليدية. وقد استخدمت المعادلات شبه التقليدية الناتجة فى حسابات $\Delta E/\Delta x$ على مدار عقود. فهى تنتمى إلى خلفية المعلومات القياسية لفيزياء الجسيمات. ومن هنا وحتى يومنا هذا من الممكن إيجادها فى أحدث إصدارات "كتيب فيزياء الجسيمات"(١). وعلى المستوى الفردى يمكن أن يعطى هذا الإجراء نتائج خاطئة؛ لأن الطاقة المفقودة ΔE لكل طول Δx هو قيمة متوسطة احتمالية بينما تتسبب مسارات الجسيم المنفرد عن تأثيرات تشتتات عشوائية. وبالإضافة، يكون توزيع فقدان الطاقة الحقيقى لكل طول من الكشاف حول القيمة المتوسطة جد بعيد عن توزيع "جاوس" بسبب عمليات أشعة الكبح وخلق الأزواج اللذين يعطيان تراوحية كبيرة. ومعنى هذا أن فى أى تجربة تشتت عالية الطاقة، تكون هناك نسبة صغيرة لطول بالغ القصر من مسارات الجسيمات ترجع إلى جسيمات ذات طاقة عالية جدًّا وتنافى بشدة علاقة المدى بالطاقة شبه التقليدية التى استنتجت من معادلة "بيث" و"بلوخ". وفى قياس عالى الدقة لمقطع تفاضلى يجب تصحيح الترددات النسبية لكميات الحركة المختلفة للجسيمات والتى تحرّف بسبب هذه المسارات ذات الطاقة المفقودة العالية وتأثيراتها، عند المستوى الاحتمالي وذلك بأخذ تنبؤات كهروديناميكا الكم فى الاعتبار.

وهذا أمر ممكن؛ حيث إن تنبؤات كهروديناميكا الكم للتأين وأشعة الكبح وخلق الأزواج معرّفة وتم اختبارها جيدًا. وبالإضافة إلى ذلك، فإن انحراف الجسيمات المشحونة نتيجة عمليات التشتت المرنة المتعددة داخل

---

(١) انظر معادلات تناقص الطاقة فى الصفحات من ٢٣٨ إلى ٢٥٥، من المرجع PDG 2004.

مكتبة الفكر الجديد

المادة، قد تم حسابها بكهروديناميكا الكم. ولأن معجلات الجسيمات اليوم تولد وابل جسيمات بشدة وطاقة بالغتا الدقة فى التحديد، فتوقعات كهروديناميكا الكم قد تم اختبارها، ليس فقط من حيث متوسط الطاقة المفقودة ولكن أيضًا من حيث التراوح حول القيمة المتوسطة وكذلك دقة الشكل "اللاجاوسى" للتراوحات الكمية.

وفى ممارسة تحليل بيانات تجارب تشتت عالية الطاقة، على مدى العقود القليلة الفائتة، فقد توائمت كهروديناميكا الكم والمعادلات شبه التقليدية للطاقة المفقودة من الجسيمات المشحونة داخل المادة كما يلى: لقد استخدمت معادلات "بيذ- بلوخ" ومعادلات "بيذ – هتلر" لحساب الطاقة المفقودة $\Delta E/\Delta x$ لنوع معين من الجسيمات المشحونة داخل نوع معين من المادة للاستدلال على كمية الحركة الابتدائية فى بداية مسار جسيم وذلك من الشكل الحقيقى للمسار.

وما الطريقة التى تم عمل هذا الأمر بها إلا نموذج لتلفيق قصاصات من النظريات غير المتوافقة معًا طبقًا لواقعية حدسية. وهذا ما أطلقت عليه "تانسى كارترايت" الفيزياء التدريجية. ومتوسط الطاقة المفقودة ΔE لطول محدد من الكشاف Δx قد تم تفهمها بسعة أفق على أنها الطاقة التفاضلية المفقودة على طول مسار معين، $\Delta E/\Delta x$. وهذه الكمية قد أدخلت على الصيغة التقليدية، $F = \left(\frac{q}{c}\right) v \times B$ ، لقوة "لورنس" بالأسلوب الآتى:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{q}{m} p \times B + \frac{|p|}{m}\left(\frac{dp}{dx}\right) \qquad (5.13)$$

مكتبة الفكر الجديد

وهنا، نحصل على السرعة ($v=p/m$) من (dx/dt)، حيث p و m هما كمية الحركة والكتلة وتحسب dE/dx من معادلة "بيث" (5.11) للطاقة المفقودة داخل المادة. وتصف المعادلة التفاضلية (5.13) متوسط التناقص فى كمية الحركة لجسيم مشحون داخل مادة نتيجة استنفاد الطاقة على طول مسار الجسيم. وقد تم تنفيذها فى كل برنامج كمبيوتر يقوم بحساب كمية الحركة الابتدائية فى بداية مسار جسيم وله صلة بقياس المقطع التفاضلى لتشتت معين. ومن هنا، تكون طريقة القياس المبينة هنا وراء كل قياس عالى الدقة والتحديد لمقطع تفاضلى أو كلى، شاملة القياسات التى تم وصفها فى الفقرتين (٣-٤) و(٤-٤). على أي حال، هذه الحسابات تجرى على متوسط القيمة الإحصائية لعملية عشوائية غير منتظمة. ولذلك ففى كل برنامج كمبيوتر للتحليل الإحصائى لمسارات الجسيمات فى تجربة تشتت عالية الدقة والتحديد يدخل عليها التصحيح الإحصائى. وهى تأخذ فى الاعتبار الفرق بين متوسط القيمة الإحصائية والتراوحية أو الفرق بين القيمة المتوقعة الكم ميكانيكية $\langle E \rangle$ والتوزيع "اللاجاوسى" للطاقة المفقودة حول القيمة المتوسطة $\langle E \rangle$ للتراوح الكمى الذى يتسبب عن عمليات أشعة الكبح وخلق الأزواج. وعلى المستوى الاحتمالى لتحليل البيانات، يؤخذ فى الاعتبار المسارات المنحرفة التى بلا شكل متوسط (غير الكلاسيكية) وذلك لعمل تصحيح التكرارات النسبية المقاسة للجسيمات ذات كمية حركة معينة لتأثيرات الكهروديناميكا الكمية على المستوى الاحتمالى[١]. وقد بنى هذا الإجراء فى تحليل البيانات على الترتيب المنطقى الآتى:

---

(١) المرجع Falkenburg 1996. بالمقارنة مع المرجع Cowan. 1998

مكتبة الفكر الجديد

(أ) يتم تحليل مسارات الجسيمات المنفردة طبقًا لمعادلات شبه تقليدية فيما يتعلق بالطاقة المفقودة على طول المسار. وبحل المعادلة التفاضلية (5.13) للعوامل المتغيرة لمسار معين ينتج عنه قياس قيمة كمية الحركة الابتدائية للجسيم فى بداية هذا المسار.

(ب) للجسيمات عالية الطاقة أو ذات كمية حركة ابتدائية نسبوية ينهار التناظر مع الصورة التقليدية؛ ومعنى هذا أن بزيادة طاقة الجسيم لعدد متزايد من مسارات الجسيمات فعن تحليل البيانات الذى يتم طبقًا للفرض (أ) يعطى نتائج خاطئة وتصبح التكرارات النسبية المقاسة للجسيمات منحازة بهذا الخطأ فى القياس. وفى المقابل تعطى التكرارات النسبية المقاسة للجسيمات قياسًا محرّفًا للمقطع التفاضلى.

(ج) على أى الأحوال، تتنبأ الكهروديناميكا الكمية بعدد مسارات الجسيمات التى من المتوقع أن يفشل عندها نتائج البيانات شبه التقليدية كما جاء فى (أ)، ومثلها التوزيع العشوائى للانحرافات حول المعدّل. وهكذا، تعطى التراوحية الإحصائية تنبؤًا احتماليًا لمسارات الجسيمات المنحرفة عن المعدل شبه التقليدى للتحريفى قياس المقطع التفاضلى. وهذا الخطأ فى القياس على أي حال من الممكن تصحيحه على المستوى الاحتمالى بوسائل إحصائية بسيطة.

وفى الحقيقة، يؤدى هذا النوع من المنطقية وما يقابله من مناهج إحصائية فى تحليل البيانات الخاصة بالقياسات عالية الدقة والتحديد للمقاطع، إلى نتائج قياسات مترابطة جدًا لما تمت مناقشته فى الفقرة (٤-٣-٢) حول المقطع التفاضلى. وهنا لا يمكن شرح طريقة تحليل البيانات بالتفصيل. ويكفى أن نقول: إنه فى مقابل التقنيات البالغة التعقيد والخلفية المعرفية

مكتبة الفكر الجديد

النظرية لهذه القياسات، دائمًا ما يقوم الفيزيائيون بتطبيق المزيد من مناهج القياس التكرارية كلما أمكن ذلك، ومراجعة الاتساق الداخلي لمُعطياتهم. وفى فيزياء الجسيمات الحالية تدخل هذه الوفرة فى صميم أى تجربة. فهناك قياسات مستقلة لخواص الكشّاف (شاملة معايرة مقياس الطاقة التى يوفرها الكشاف) وهناك أيضًا اختبارات الاتساق الداخلى للبيانات قدر المستطاع. علاوة على ذلك، لا تؤخذ نتائج أى تجربة مأخذ الثقة إلا إذا تم تأكيدها بتجربة أخرى تأسيسًا على مناهج تجريبية مستقلة. وعند هذه النقطة يصبح السعي خلف التكرار فى مناهج القياس المعقدة مقابلاً للبحث عن القدرة على توليد النتائج التجريبية نفسها.

٥-٤ بناء الجسور: توحيد المبادئ

يتميز المنهج الناتج عن تحليل المُعطيات ببنية غير متجانسة، وتكرارية، ومتماسكة على نحو ما تم عرضه في الفقرة (٥-٢). وله أسس شبه كلاسيكية: إنه يربط طرقًا تقليدية لتحليل مسارات الجسيمات الفردية بالتصحيحات والتنبؤات الكمية الاحتمالية. وهى مسهبة: فهى تجعل من الممكن مقارنة توقعات الكهروديناميكية الكمية بمعادلات شبه تجريبية مبنية على نتائج قياسات تفصيلية ليست قائمة على الكهروديناميكية الكمية. إنها تعطى نتائج متناسقة: فالاتفاق بين التجارب المستقلة التى تقيس الكميات نفسها ومقارنة قوانين القياس للقياسات المستقلة وكذلك وفرة الأساليب التى تصمم لتحليل أى بيانات لفيزياء الجسيمات كلها تدعّم بعضها البعض[١].

---

(١) فكرة أن التجربة (مثلها مثل أى عمل إنسانى) ليست محصنة ضد الانحياز والخطأ والخداع والتلفيق؛ لا تُمثل حُجة فى مواجهة هذا الزعم.

مكتبة الفكر الجديد

هناك نقطة يجب أن تكون واضحة من المناقشات التى تمت فى الفقرات السابقة. إن البناء غير المتجانس لنظرية القياس لفيزياء الجسيمات الحالية لا يعود إلى التطور التاريخي فى المقام الأول؛ بل يعود إلى حقيقة أنه ما من نظرية موحدة حتى الآن للنطاق التقليدى والكمى يمكن أن تتكامل فيها أجزاؤهما.

وبالتالى، فتناسق هذه النظرية مبنى على حقيقة أن فتاتها ترتبط بنجاح من خلال مبادئ موحدة. وعلى وجه التحديد فمبدأ التناظر لـ"بور" له وظيفة بناء جسور الدلالات اللفظية بين النظريات غير القابلة للقياس عندما تفشل القواعد الموحّدة الأخرى. ومن الممكن أن تسمى مثل هذه المبادئ الموحّدة "جسر المبادئ". عندما تنشئ روابط نظرية مشتركة بين النظريات المتجافية. وبأى حال، لا يجب خلط معنى هذه المبادئ مع فلسفة التجريبيين للعلم المدعوّة "جسر المبادئ"؛ أى قواعد التناظر التى تربط لغة النظريات فى الفيزياء واللغة الشواهدية للتجربة والقياس. وفى كتاب "تاجل" الشهير "بنية العلم" تم شرح هذا التفهّم التجريبى لجسر المبادئ باستخدام نموذج "بور" للذرة لكل الأشياء محدثًا خلطًا مع مبدأ التناظر لـ"بور"[1]. وقد كان المبدأ الأخير مبدأ رائدًا جعل من الممكن بناء قوالب وبديهيات نظرية الكم القديمة قبل ميكانيكا الكم عام ١٩٢٥. وفيما يلى يستخدم المصطلح "جسر المبادئ" فقط فى هذا المغزى الرائد. و"جسر المبادئ" العامل فى فيزياء الكم يقيم الترابط بين الفيزياء الكلاسيكية والكمية، بمعنى، الروابط بين النظريات. وهذه يجب ألا تتداخل مع قواعد التناظر التجريبية. وفى الفيزياء الحديثة، فى

---

(1) Nagel 1961.

مكتبة الفكر الجديد

الحقيقة، ليس لقواعد التناظر التجريبية تلك الأهمية التى نسبها التجريب المنطقى إليها. والسبب فى هذا هو أن ظواهر الفيزياء بعيدة عن كونها تجريبية فى توجّه دقيق، فهى تركيبة شواهدية[1].

٥-٤-١ مبدأ التناظر لـ "بور"

لقد رجع الإصدار الأصلى لمبدأ "بور" للتناظر إلى ترددات الانتقالات المشعة للذرة[2]. وطبقًا لنظرية "بور" للذرة عام ١٩١٣، أقامت مبدأ الكمّ بإدخال مفاهيم كان الغرض منها أن الإلكترونات فى المدار الذرّى لا يمكن أن يفقد طاقة بالإشعاع مثل الشحنات التقليدية، وإلا هرعت إلى النواة فى فترة زمنية قصيرة. فطبقًا لفرضية "بور"، فإن الذرة تشع فقط حينما تنتقل الإلكترونات من مستوى طاقة كمّى إلى مستوى آخر أقل طاقة. وتخالف الانتقالات الكمّية المشعة النظرية التقليدية للإشعاع. وتهيئ الآن مبدأ التناظر تشابهًا بين الإشعاع التقليدى والكمى.

ويرجع هذا التشابه إلى ترددات الضوء المنبعث. وينص المبدأ على أنه لمستويات الطاقة العالية وترددات الضوء المنخفضة، فترددات الضوء فى الانتقالات المشعة فى ذرة ما تقابل ترددات انبعاثات شحنة تقليدية تدور حول شحنة مركزية. وقد صاغ "بور" مبدأ التناظر فى عام ١٩٢٠ على النحو التالى: "لقد وجد تناظرًا بعيد المدى بين أنواع الانتقالات المتنوعة الممكنة

---

(١) انظر الفقرة (٢-٤).

(٢) لما سيأتى انظر الجزء ب من المرجع Darrigol 1992. وكذلك المرجع Falkenburg 1998.

مكتبة الفكر الجديد

بين الحالات الثابتة من ناحية وعناصر المتنوعة الانتقالية المتآلفة من ناحية أخرى. ولهذا التناظر طبيعة أن النظرية الحالية للأطياف فى وجهة معينة ينظر إليها على أنها تعميم منطقى لنظرية الإشعاع المألوفة"[1].

ويؤكد التناظر أن نظرية الكم للإشعاع، من وجهة معينة، ممكن أن تلحق بسلاسة بالكهروديناميكا الكلاسيكية. إنه يسمح بتطبيق مفاهيم نظرية الانبعاث الكلاسيكية بالأطياف الذرية من خلال التشابه. وقد أطلق "بور" على هذا التطبيق المشابه "التعميم المنطقى" للنظرية الكلاسيكية للإشعاع، لاعتبار نظرية الكم للأطياف الذرية فى هذا التوجّه كصيغة للنظرية الكلاسيكية لها مظهر نوعى وشكلى. فالمظهر الشكلى يتناول التناظر العددى للصياغات الشكلية. فشكلاً، يتكون التشابه فى علاقة مقدارية من تقريب القوانين التقليدية والكمية للإشعاع الكهروديناميكى. إنه يقرر تحت أى ظروف $(n \to \infty \; and \; \Delta\upsilon \to 0)$ تتجاوز الترددات الكمية لإشعاع حدود التقريب إلى الترددات التقليدية. ويهتم الجانب النوعى بالتفسير الفيزيائى لهذه الصياغات بدلالة الكميات الفيزيائية نفسها. فنوعيًّا، يغطى التشابه مفهومًا كميًّا بمعنى فيزيائى تقليدى (الصيغ الشكلية للترددات المنبعثة لذرة ما $(\Delta E = h\upsilon)$. إنه يقرر أن الترددات المنفصلة للإشعاع الطيف الخطى لذرة ما تمثل النوع نفسه من الخاصة الفيزيائية كتواصل لترددات الأشعة الصادرة من شحنات تقليدية متذبذبة.

وتتصل ترددات نظرية الكم والكهروديناميكا التقليدية بفئة متجانسة من الخواص الفيزيائية فقط عند أخذ الجانبين معًا. والعكس بالعكس فبأخذهما معًا

---

(1) Bohr 1920

مكتبة الفكر الجديد

فهما يسمحان باعتبار الطيف اللا ضوئى لموجات الميكروويف والموجات الطويلة الكهروضوئية كامتداد للطيف البصرى للضوء المنبعث من الذرة. ومن الواضح أن مبدأ "بور" للتناظر ليس مبدأ تجريبيًا للتناظر. إنها لا تعزى المفهوم التجريبى لخط فى الطيف للقانون العرفى للإشعاع $(\Delta E = h\upsilon)$ والذى يحدد ضمنيًا الأطوال الموجية للخطوط كما وضعها "نيجل" فى كتابه عام ١٩٦١[1]. هى لا تربط، بصفة مبدأية، مفاهيم اللغة النظرية واللغة الشواهدية معًا. ولكنها ترسى تشابهًا عدديًا وفيزيائيًا بين نظرية الإشعاع التقليدى ونظرية الكم؛ بمعنى، علاقة نظرية داخلية. وهذا التشابه المزدوج يسمح بالاستخدام المستمر للمفاهيم الكلاسيكية للتردد والطول الموجى فى نموذج "بور"و"سمرفيلد" للذرة.

لإن إصدار "بور" الأول لمبدأ التناظر الذى تم ذكره سابقًا، يرجع إلى نظرية الكم. وقد دعّمت تطور نماذج الذرة قبيل ظهور ميكانيكا الكم. لقد كانت مبدأ رائدًا جعلت من الممكن ربط المدارات الكلاسيكية فى ذرة "بور" و"سمرفيلد" بمبادئ الكمّ فى ثلاثية "بور" ١٩١٣. وهكذا، على الرغم من أن مبدأ التناظر فى نظرية الكم القديمة كان له وضع المبدأ الداخلي، فإنها تعبّر عن مجرد علاقة نظرية داخلية. فهو مبدأ جسري له مهمة رائدة فى تشكيل النظرية من ناحية، فيما تسمح بالتفسير الفيزيائى لنماذج نظرية الكم القديمة من ناحية أخرى.

---

(1) Nagel 1961, P. 95.

مكتبة الفكر الجديد

٥-٤-٢ تعميم مبدأ التناظر

فى تعميم "هايزنبرج" الأخير أعاد تفسير مبدأ التناظر على أنه مبدأ يتناول صراحة علاقات نظرية داخلية. وفى عام ١٩٣٠، عمم "هايزنبرج' مبدأ التناظر بحيث يكون من الممكن أن يمتد شكل ونوع وجه التشابه بين الترددات التقليدية والكمية لتشمل كل الكميات الفيزيائية: "فى إصداره الأكثر تعميمًا، يعلن مبدأ "بور" للتناظر عن تشابه نوعى (يمكن أن ينفَذ بالتفصيل) بين نظرية الكم والنظرية التقليدية ينتمى إلى الصورة التى نحن بصددها. وهذا التشابه لا يخدم كمرشد لإيجاد القوانين الشكلية، ولكن القيمة الحقيقية الخاصة له هى فى أنه يقدم، فى الوقت نفسه، التفسير الفيزيائى للقوانين التى توجد"(١).

وطبقًا لذلك، تقف مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية فى تناظر دقيق مع مفاهيم ميكانيكا الكم. فمن ناحية يكون لهذا التناظر مهمة رائدة فى البحث عن تشكيل النظرية الجديدة. وباستخدام قواعد التناظر، يصبح الفرد قادرًا علـى إنشاء نظرية كم من نظرية تقليدية؛ حيث تقف نصوص النظرية التقليدية والنظرية الكمّية ضمن علاقات جيدة التحديد الكمى للتقريب. ومن ناحية أخرى، فلتعميم مبدأ التناظر مهمة لفظية فى إمدادنا بـ"التفسير الفيزيائى" بنظرية الكم المجردة ونماذجها. ينص المبدأ على أنه من المسموح به تفسير الصورية

---

(١) المرجع Heisenberg 1930a&b (الترجمة الخاصة بى). لقد أهملت النسخة الإنجليزية الواردة عاليه ثلاث نقاط: (أ) تعميم مبدأ "بور" الأصلي، (ب) الملامح الكيفية للتشابه و(ج) المصطلح "فيزيائى" فيما يتعلق بالتفسير: "هايزنبرج يستشهد بـ"بور" المرجع Bohr 1923.

مكتبة الفكر الجديد

المجردة لنظرية كم يتم الحصول عليها من خلال تعميم النظرية الكلاسيكية جزئيًا على الأقل بدلالة المفاهيم الكلاسيكية المألوفة. ويؤكد التشابه النوعي بين الوصفين التقليدى والكمى على أن نظرية الكم بديهية من جهة يبغاها "هايزنبرج"؛ بمعنى، أن لنا تفهّمًا نوعيًا لعواقبه التجريبية على أساس عملىّ[1]. وهكذا يكون لتعميم مبدأ التناظر أساس دلالات ألفاظ الاستمرار التى تضمن أن مسندات الخواص الفيزيائية مثل الموضع وكمية الحركة والكتلة والطاقة...إلخ، يمكن أن تعرّف فى نطاق ميكانيكا الكم وأن الفرد يمكن أن يفسرها عمليًا تمشيًا مع طرق القياس التقليدية. إنها تعطى الكثير من العلاقات النظرية الداخلية من خلال ما يمكن أن تزوده المفاهيم السابقة ونماذج ميكانيكا الكم من مغزى فيزيائى. ولهذا المغزى الفيزيائى وجهان، أحدهما صوري والآخر غير صوري.

وكما ورد فى النص الأصلى لـ"بور"، يقبع الوجه الصوري فى علاقات التقريب بين القوانين التقليدية والكمية. هذه القوانين تحدد بذاتها المفاهيم الفيزيائية المتتالية بداهة أو ضمنيًا، من خلال البديهيات الخاصة بالديناميكا. والمعنى الصوري الذى يرد إلى مفهوم كمى من خلال تناظر شكلى مختلف، بأى حال. وطبقًا لنص "بور" لمبدأ التناظر عام ١٩٢٠، فهو يقبع فى الشروط الصورية التى بموجبها يقوم عليها قانون الكم، تخلص تقريبًا إلى قانون تقليدى. وفى منهاج صوري لاختزال نظرية يمكن أن تندمج المفاهيم التقليدية والكمية، جزئيًا، من خلال معيار يوثق التناظر لتمييز المشاهدات[2].

---

(1) Heisenberg 1927
(2) Scheibe 1999, P. 224-225.

مكتبة الفكر الجديد

إن الجانب غير الصوري لمعنى مفاهيم الكم عملى أكثر منه بـديهى. وبمعنى أكثر تحديدًا، إنه يقبع فى المقاييس التقليديـة المعروفـة للكميـات الفيزيائية وأسسها العملية. فطبقًا لـ"بور" و"هايزنبرج" فـالمعنى الفيزيـائى لمفاهيم الكم الواردة من مبدأ التناظر، قابل للعمل[١]. إنه يكمن بطريقة يمكن معها أن تقاس قيم الكميات المناظرة بأسلوب قياس تقليدى (أو شبه تقليدى). بمعنى، أسلوب يكون فيه تعاظم المفهوم راسخًا عمليًا، طبقا لـ"كارنـاب"[٢]. ولقد أطلق "بور" و"هايزنبرج"، كل بطريقة مختلفة كلية، على هـذا المعنـى الفيزيائى لفظ "البديهى"[٣]. وباستعمال لفظ " بديهى" من كـل مـن "بـوهر و"هايزنبرج" يعنى أنهما يعنيان "غير الصوري" وعلى التوالى أوجه المفاهيم الفيزيائية النوعية (تذكّر أن رأيهما فى المعنى الفيزيائى عن المفاهيم الكميـة تتعارض بشدة مع الرأى البديهى لـ "أينشتين" فى الجوانب العملية لمفـاهيم الفيزياء)[٤]. وعلى أي حال، فالجوانب غير الصورية أو اللا بديهية لمفـاهيم الفيزياء لم تستنفد بعد بواسطة معانيها الفيزيائية. وبالإضافة إلى ذلك، فهنالك السؤال حول ما إذا كانت وكيف تعزى هذه المفاهيم. تلك نقطة لم يركّز عليها "هايزنبرج" وهى ما سأعود إليها لاحقًا. وعلى العكس، فمن المعروف جيـدًا

---

(١) يجب التنويه هنا مسبقًا أن هذا ليس كافيًا بالنسبة إلى "بور"؛ إذ يُمثل مبدأ التناظر أيضًا دعامة لفلسفته التتامية التي تهدف إلى إعطاء مرجع لمفاهيم الكم بدلالة ظواهر كمية ونظائرها الكلاسيكية. انظر الفقرة (٧-٢-٢)، والمرجع Pringe 2006.

(٢) المرجع Carnap 1947.

(٣) المراجع Bohr; 1928 . و Heisenberg 1927. و Falkenburg 2005.

(٤) انظر الفقرة (٥-١).

مكتبة الفكر الجديد

فى الوقت الحالى أن مبدأ التناظر لا يستغرق نطاق نظرية الكم كلّيًا. فهنـــاك العديد من الظواهر الكمية وليس لها تناظر تقليدى[١].

ولقد عزا "هايزنبرج" لمبدأ التناظر التعميمي مهمة إعطـــاء التفـــسير الفيزيائى لملخص تشكيل نظرية كم. ويعنى هذا أن على وجه الخصوص أن التشكيل قد تم تفسيره بطريقة يمكن معها أن تطبّق فى مقابل خلفية الفيزيـــاء الكلاسيكية وعلى شروط نصف تقليدية. (وفى الحقيقة، كل تجـــارب الـــذرة والنواة وفيزياء الجسيمات خاضعة لشروط نصف تقليدية طالمـــا اســـتخدمت أجهزة القياس المجهرية وصاغت تشتت جسيمات ما دون الذرة داخل الـــذرة فى هذه الأجهزة. والفرض التقليدى الحازم هو موضعية ذرات مادة الكشّاف داخل الحجم المجهرى للمادة). ولقد سبق أن تناولنا بالفعل كيف يعمل هـــذا الأمر فى حالتين من الدراسة. فى الحالة الأولى يكون لمبـــدأ التنـــاظر وارد مرجعى لم تتم ملاحظته بواسطة "هايزنبرج". وفى الحالة التزامنية يُنشئ مبدأ التناظر مرجعًا للوصف الكمى لمسار جسيم للمسار التقليدى لكل الأعـــراض العملية. وفى كلتا الحالتين ينهار مبدأ التناظر فى نطاق نظرية الكم النسبية.

١- فى تعريف معاملات الشكل فيما دون الذرة، اشترك تطبيقـــان لمبـــدأ التناظر التعميمي. الأول منهما هو سلسلة النماذج التى تم وصفها فى الفقرة (٤-٤). تلك النماذج لنظرية ميكانيكـــا الكـــم لتـــشتت تقابـــل

---

(١) على سبيل المثال الترابط "EPR" (المرجعان: Einstien et al 1935 و Aspect et al. 1982.) وتأثير "بور" - "أهارانوف" ومحكوم "بوز-أينشتين" والشق المزدوج للفوتونات والإلكترونات المنفردة و تجارب "أى- طريق" للكم الضوئى. انظر الفقرات (٧-٣) إلى (٧-٥).

مكتبة الفكر الجديد

بالتقريب تشتت "رذرفورد" التقليدى تحت شروط واضحة المعالم. والتناظر التام بين المقطع التفاضلى التقليدى والكم ميكانيكى معطى فى معادلة "رذرفورد"؛ بمعنى، لجهد "كولوم" وللجسيمات المسبارة اللانسبية وفى غياب المغزلية الكم ميكانيكية أو التأثيرات التبادلية. والثانى هو الممارسة الفيزيائية فى وصف التوزيع الشحنى داخل الذرة بمعامل شكل تقليدى، كما سبق شرحه فى الفقرة (٣-٤). فهو مبنى على التناظر بين ميكانيكا الكم لدالة الموجة للأجسام العديدة $|\Psi(r)|^2$ للجسيمات المشحونة فيما دون الذرة وتوزيع شحنى تقليدى $\rho(r)$ هو بمثابة تحويل "فوريير" لمعامل شكل تقليدى $F(q)$. وهنا أخذ بمبدأ التناظر الذى يخدم التمثيل التقليدى $\rho(r)$ للكثافة الاحتمالية اللاتقليدية ولم يؤخذ بما ليس له معنى تطبيقى طالما لم تؤخذ الشحنات المقيدة فى الاعتبار. وطبقًا للتفسير التشغيلى المعتاد من ميكانيكا الكم، فإن $|\Psi(r)|^2$ تعنى احتمال قياس الموضع. على أى الأحوال، فالقياسات غير البنّاءة لشحنة منفردة داخل الذرة غير ممكنة. وهكذا، لتحديد $|\Psi(r)|^2$ بمبدأ التناظر بتوزيع شحنى نصف تقليدى داخل الذرة هو أمر يتجاوز تفسير "بورن- فون نويمان" الاحتمالى المعتاد لميكانيكا الكم.

٢- يقوم تحليل مسارات الجسيمات على سلسلة مشابهة للنماذج التى تربط ميكانيكا الكم للتشتت بالحالة التقليدية المقابلة. وهنا نذكر أن النموذج الذى يقابل الحالة التقليدية وهى حسابات "بور" للطاقة المفقودة بالتأين عام ١٩١٣ بعيدة جدًا عن الواقعية كما سبق بيانه فى

مكتبة الفكر الجديد

الفقرتين (٣-٣-٥) و (١-٣-٥). وبالإضافة، فقد اتضح أن حسابات "موت" يؤكد مبدأ التناظر التعميم، بينما تثق فيها حسابات "بور" حتى فى النطاق الذى لا تعد صالحة للعمل فيه.

ونرى من كلتا الحالتين أن التناظر مبدأ قوي. وبقدر ما تعد صالحة، يمكن للصورة التقليدية أن تصان لكل الأغراض العملية. وفى الحقيقة، فمبدأ التناظر يمنع الواقعية التقليدية من الانهيار فورًا فى النطاق الكمى[١]. وفى كل من الحالتين اللتين تمت مناقشتهما آنفًا هناك سلسلة من النماذج قائمة على نموذج ذى تناظر تقليدى. وعلى طول هذه السلسلة من النماذج تنهار الصورة التقليدية للواقعية ولكن بالتدريج فقط. ويزعم مبدأ التناظر أن التوزيع الشحنى لما دون الذرة ومراكز التشتيت ومسارات الجسيمات نصف التقليدية لها تواجد، على الأقل، فى النطاق اللانسبى، كما لو كانت جسيمات تقليدية.

وهنا يجب إضافة ملاحظة، وهى أن التفسير التطبيقى لميكانيكا الكم طبقًا لـ"بورن" و"فون نيومان" ليس كافيًا للتفسير الفيزيائى لتجارب عديدة للفيزياء الذرية والنووية وفيزياء الجسيمات. وبالإضافة، هناك حاجة لمبدأ التناظر المعممة وقواعد توحيد أخرى.

وعلى وجه الخصوص، فتفسير "بورن- فون نويمان" لا يفرز مرجعًا للتوزيع الشحنى فيما دون الذرة. إنه لواقع أن نفسّر مربع السعة $|\Psi(r)|^2$ لدالة الموجة لعديد الأجسام Ψ للإلكترونات أو النويدات داخل الذرة كتوزيع

---

(١) كما هو مُبين في الفقرة (١-٥)؛ بمعنى الفروض التقليدية حول المقاصد الفيزيائية كأسباب للظواهر.

مكتبة الفكر الجديد

شحنى فراغى. وهذا يعنى افتراض أن التوزيع الشحنى يتفاعل كما لو كان العديد من قياسات الموضع للإلكترونات المؤدية إلى تأين قد أجريت. وما يقابل ذلك من التفسير للبروتونات والنيوترونات هى أمور يغلب عليها الاصطناع. والرابط النويدى لقياس موضع إلكترون بالتأين هو انشطار نووى. وفى حال التوزيع الكواركى داخل النويدات، نتيجة احتواء الكوارك فليس هناك رابط لقياس الموضع هذا على الإطلاق. وفى الحقيقة، هناك فجوة إضافية حاسمة من التفسير. ففى تجارب التشتت عالية الطاقة التى يقاس فيها معاملات الشكل والدوال البنائية لا يمكن تفسيرها من خلال دالة الموجة للأجسام العديدة للبروتون أو النيوترون. فدوال النويد البنائية يعبر عنها بدلالة توزيع كمية الحركة للكوارك الحر؛ أى، بدلالة الموجة المستوية الكمية. هذه التوزيعات لكمية الحركة للكوارك مستخلصة من المقطع التفاضلى المقاس نسبة إلى نموذج التشتت النقطى الذى بدوره ثابت المقياس؛ أى قائم على منهاج صارم للتحليل البعدى[1].

إن الفيزياء العملية، كما يبدو، لا تلقى بالاً لوقائع القضية الفلسفية. إنها قائمة على الاستخدام الضمنى للقواعد الجسرية من ناحية وواقعية ضمنية من ناحية أخرى. وفى عديد من الحالات فالوارد المرجعى لمبدأ التناظر المعممة كاف لأغراض العملية. أما أين ينهار التناظر عند الحالات التقليدية فعلى أي حال الواقعية الضمنية لا تعد تقليدية؛ بل واقعية حول موجات الكم التى بنيت على ازدواجية الجسيم والموجة[2].

---

(١) الفقرتان (٤-٣) و (٤-٤) والملحقان (ب) و(د).

(٢) انظر الباب السابع وخاصة الفقرة (٧-٣-١).

مكتبة الفكر الجديد

وهكذا، فقد أقام مبدأ التناظر جسورًا لبعض الفجوات اللفظية الحاسمة بين نظرية الكم والنظريات التقليدية. وعلى عكس مبدأ التناظر لفلسفة التجريبى للعلوم، فهى لا تنسب مفاهيم شواهدية لمفاهيم نظرية. هى بالأحرى تخلق تشابهات نوعية ومقدارية بين نظريتين أو نماذجهما. إنها ترسى روابط داخل النظريات بين تعبيرات ونماذج نظرية تقليدية ونظرية كمية. وبها العمل يتم التلاحم بين لغة الفيزياء الكلاسيكية ولغة نظرية الكم. وفى الحقيقة، فالتفسيرات الواقعية لميكانيكا الكم فيما وراء تفسير "بورن" و"فون نيومان" هى الأفضل بلا جدال. فليس لها مزيد من وارد مرجعى بعد مبدأ التناظر المعمم. وبالنسبة إلى التفسير الفيزيائى لبناء ما دون الذرة، فمبدأ التناظر هو القوى. وبالإضافة، فتناظر نماذج نظرية ميكانيكا الكم للتشتت حتى مراكز التشتيت التقليدية ومسارات الجسيمات التقليدية تنهار فقط عندما تنهار التفسيرات الواقعية؛ أى فى نطاق نظرية المجال الكمى النسبية. وعلى وجه الخصوص يسرى على مسارات "بورن" أو عوالم أخرى.

٥-٤-٣ مبادئ توحيد أخرى

لنقم الآن بنظرة قريبة فى العلاقة بين مبدأ التناظر وقواعد أخرى للتوحيد فى الفيزياء. لقد رأينا بالفعل كيف ينهار التناظر بين نظرية الكم للتشتت بالصورة التقليدية لمراكز التشتيت ومسارات الجسيمات تدريجيًّا فى النطاق النسبى. وعلى ذلك فمبدأ التناظر التعميمي ضروري ولكنه ليس كافيًا لتدعيم الوحدة اللفظية للفيزياء. فهناك الحاجة إلى المزيد من قواعد التوحيد لتعريف الطول والزمن والكتلة من أفق الواقع الكونى نزولاً إلى الكوارك

مكتبة الفكر الجديد

بدلاً من الحديث عن حجم الكون ومقياس بلانك. والمبادئ الآتية تساهم في إرساء وحدة لفظية معينة في الفيزياء. ولكنها بأي حال ليست من القوة الكافية لتدعيم المزاعم المرجعية لمنهج القياسات التي نوقشت سابقًا:

١- مُبرهنة(*) "إيرنفست": وهذه مستنتجة من مبدأ التناظر؛ فهي تنص على أن القيمة الميكانيكية الكمية المتوقعة لمشاهدة تقع تحت قانون الحركة نفسه لما يناظرها من كمية فيزيائية تقليدية. ولاتصلح لعمليات التشتت فيما دون الذرة التي نوقشت في هذا الكتاب. فقوى ما دون الذرة بالغة الشدة. وعلى وجه الخصوص، هي لا تصلح للدخول في حسابات "بيث" في عام ١٩٣٠. لمتوسط الطاقة المفقودة من جسيم مشحون داخل المادة $\langle E \rangle$ والتي استخدمت في تحليل مسارات الجسيمات حتى يومنا هذا.

٢- فرضية إرجوديك: وتنص هذه على أن الزمن المتوسط لديناميكات أعضاء تجميع إحصائي يساوى متوسط التجميع. وهذا الزعم يسد الفجوة بين مستويات تطوير النظام الفردي والسلوك التجميعي. وكمبدأ للإحصائية التقليدية، على أي حال، هي الأخرى لا يمكن أن تكون أقوى من مبدأ التناظر. وفي حالة مسارات الجسيمات، ينطبق مبدأ إرجوديك بابتذال على الوصف الكم ميكانيكي المثالي لـ"موت". وطالما كانت الطاقة المستنفدة مهملة على طول مسار جسيم، فالجسيم لا يعتبر متغيرًا في الحالة الكمية. وبذلك، ففي نموذج "موت" فالنقاط

(*) المبرهنة theorem في نسق صوري ما – مثل الهندسة الإقليدية – هي عبارة يمكن أن تُشتق من بديهيات النسق. (المترجمان).

مكتبة الفكر الجديد

المقاسة على طول مسار جسيم (والتى تقابل الزمن المتوسط) صادرة من الحالة الكمية نفسها. ومن هنا تعتبر مساهمة فى متوسط التجميع.

٣- التماثلات وقوانين الحفظ: لقد كانت ولا تزال التماثلات وقوانين الحفظ أدوات تصميم قوية فى فيزياء الجسيم على مدى عقود. إنها تكمن وراء إنشاء نظريات المجال الكمى ذى المقياس الثابت فى الأيام الأولى من نموذج الكواركات عام ١٩٦٣ حتى تكوين المعادلات فى نظرية الوتر الفائق. فالتماثلات تثبّت فئة من النظريات. ومن الواضح أنها أقوى من مبدأ التناظر. فعلى وجه التحديد هى تؤدى إلى التعريف الأكثر عمومية وبديهية لجسيم. فى عام ١٩٣٩ وصف "فجنر" التمثيل غير القابل للاختزال لمجموعة "بوانكاريه" بدلالة الكتلة والمغزلية و"الندية"[١]. ولكن فيما تحتاجه فيزياء الجسيمات يصبح هذا المفهوم البديهى لمعنى الجسيم بالغ العمومية. فالتعريف لا يقيّم مرجعًا للجسيمات الفردية أو عمليات التشتت. إنه ينطبق على مستوى النوع لا على مستوى النموذج. وتملأ الفجوة المرجعية بربط التمثلات بقوانين الحفظ طبقًا لنظرية "نويذر" وتطبيق قوانين الحفظ لوقائع التشتت الفردية. وهذا التطبيق فى الواقع لا يمكنه تجنب استخدام ضمنى لمبدأ التناظر التعميمي لـ"هايزنبرج". فعلى سبيل المثال، المغزلية هى كمية بلا رابط تقليدى. وفى التحليل الأخير ارتبط قياسها ببعض قياس كمية الحركة الزاوية أو عزم مغناطيسى وهو يرتبط بالمغزلية وهو يفسّر

---

(١) المرجع Wigner 1939. ويصلح هذا التعريف لمجموعة "جاليليو" غير النسبوية أيضًا.

مكتبة الفكر الجديد

متشابهات "هايزنبرج" بالكميات التقليدية المناظرة.

٤- قواعد الاختيار الفائق فى ميكانيكا الكم تعمل الكتلة والشحنة والمغزلية مع جميع المشاهدات الأخرى. وبالتالى فلها سلوك تقليدى. وطبقًا لميكانيكا الكم فى فراغ "هيلبرت" فهم يتواجدون فقط فى أوضاع وحيدة؛ أى أن حالاتها الكمية لا تؤدى إلى تراكب. وهذه الحقيقة تمت صياغتها من خلال قاعدة للاختيار الفائق تقوم باختيار الحالات القابلة للإدراك فيزيائيًا[١]. وترتبط قواعد الاختيار الفائق ارتباطًا وثيقًا بتماثلات نظرية الكم وتعريف "فجنر" للجسيم بدلالة التمثيل غير القابل للاختزال لجموعات التماثل. إنها تختار حالات المشاهدات المميزة لنوع الجسيم والتى تقابل الخواص الدائمة غير المتغيرة لعملية كمية. وعلى أي حال هى ذات صلاحية محدودة كمبدأ جسري.

ومن ناحية أخرى، فامتداد المفاهيم التقليدية للشحنة والكتلة إلى نظائرها الكمية قائم، مرة أخرى، على إصدار "هايزنبرج" العمومى لمبدأ التناظر. فالأخير فقط يعدّ التفسير الفيزيائى لمفاهيم الكتلة والشحنة فى النطاق الكمى وذلك بإخبارنا ما الحالات الكمية القابلة للتحقيق فيزيائيًا فى فراغ "هلبرت" وما غيرها الذى يعتبر دون ذلك. وعلى الجانب الآخر، فالقواعد الفائقة الاختيار لتعد صالحة فى نظرية المجال الكمى. وعلى وجه الخصوص، فحالات الكوارك فى النموذج القياسى الحالى لفيزياء الجسيم تنتهك قواعد الاختيار الفائق للكتلة والشحنة (الضعيفة كهربيًا). وطبقًا لنظرية

---

(١) المرجع Streater and Wightman 1964.

مكتبة الفكر الجديد

"سلاّم – وينبرج" للتفاعلات الضعيفة كهربيًا، فالكتلة والحالات الوحيدة المميزة للكواركات ليست متطابقة. فنظرية "سلاّم – وينبرج" تحتوى على مصفوفة " كوبياشى – ماسكاوا" التى تصيغ تراكب حالات الكوارك. وهذا المسمى "خلط الكواركات" أساسى وجزء تم اختياره جيدًا فى النموذج الحالى لفيزياء الجسيم(١).

٥- **الـ"لا متغير" البعدى.** هى مبدأ تماثل عامة جدًا. إنها تزعم "لا متغيرة" نظرية فيزيائية تحت تغير نظام الوحدات، من نظام "سم – جرام – ثانية" مثلاً إلى طول وكتلة وزمن "بلانك". وفرض أن كل النظريات ثابتة بعديًا هو فرض رائد قوى فى الفيزياء الكلاسيكية. إنه يؤدى إلى منهاج رائد فى التحليل البعدى(٢) كما يؤدى إلى محاولات حالية لإنشاء نظريات فيزياء على مقياس "بلانك"(٣). وأساس الفرض النظرى ضعيف جدًا. فهو البديهية "الأرشميدسية" لنظرية الأعداد الحقيقية، والتى طبقًا لها، فلأى عددين حقيقيين a,b يتحقق فيهما أن $a < b$ يكون هناك عدد طبيعى n بحيث $nxa > b$ (٤). وبذلك فأية وحدة a تقيس أى كمية b. ومن الواضح أن البديهية "الأرشميدسية" ومعها

---

(١) المرجع Nactmann 1990. .

(٢) والملحق (ب).

(٣) المرجع Calendar and Huggett 2001.

(٤) تم تأكيد هذا فى مقالة "هلبرت" الشهيرة حول المنهاج البديهى. انظر المرجع Hilbert 1918. والملحق (أ).

مكتبة الفكر الجديد

فرضية الـ"لا متغيرة" البعدى هى مبدأ التوحيد الأكثر عموميـة لكـل الفيزياء طالما استخدمت النظريات الأعداد الحقيقية. إنهـا تجعـل مـن الممكن إنشاء مقاييس لكميات فيزيائية من حجم الكـون إلـى مقيـاس "بلانك". وعلى أى الأحوال، وعلى الرغم من ذلك، فإن مبـدأ الـ"لا متغيرة" البعدى أكثر عمومية من مبدأ التناظر، ومن الواجب هنـا أن نؤكد أن الأولى لا يمكن أن تعمل دون الأخيرة. وكمـا فـى حالـة التماثلات ومبدأ الاختيارات الفائقة، هناك حاجة إلى علاقـة تـرابط داخلية للنظريات تنشئ تناظرًا بين المفـاهيم الفيزيائيـة للنظريـات الكلاسيكية والكمية على مقاييس مختلفة. إن قواعد التوحيد التى تمت مناقشتها حتى الآن تعمل بالتضامن مع مبدأ التناظر. فمعًا يوحيـان كيف نمدد الكميات الفيزيائية التقليدية إلى النطاق الكمى. وفيما وراء صلاحية مبدأ التناظر هما تقترحان كيفية إنشاء مقادير كمّية جديـدة كالمغزلية و"الندية" اللتين تعرّفان بدلالة التماثل والتي تندمج بشكل ما ضمن الكميات المعروفة حتى الآن. وأخذًا فى الاعتبار امتداد مقياس الطول والزمن والكتلة إلى نطاق ما دون الذرة فكل هذه القواعد تعمل من أعلى إلى أسفل. إنها تساعدنا على أن نبين النطاق الكمى بدلالـة الكميات الفيزيائية الكلاسيكية والتماثلات. ولكنها لا تعطى شروحًا من أسفل إلى أعلى للعالم التقليدى بدلالة مفاهيم كمية. والمبـدأ الوحيـد الذي يعمل فى الاتجاه المعاكس هو عدم التماسـك المنطقـى؛ أى أن التحام الحالات الكمية فى بيئة الديناميكا الحرارية يتفكك.

مكتبة الفكر الجديد

٦- **عدم الترابط المنطقى:** ويعنى هذا أن فى بيئة مجهرية ذات درجات متناهية فى الكبر، فحدود التداخل لنظام كمى متشابك يتبدد سريعًا فى البيئة. فهى تضمحل بفعل تأثيرات الديناميكا الحرارية. وعلى الرغم من أن نظرية عدم التماسك المنطقى تفترض عالمًا من الديناميكا الحرارية التقليدية (بدلاً من التنبؤ ببزوغ العالم التقليدي)، فإنها تُبين كيف يكون للانحلالات المشعة ونواتج القياسات نتائج محددة[١]. ولكنها تبين نشوء وقائع محددة فى عالم تقليد فقط على المستوى الإحصائى وفقط لكل الأغراض العملية؛ أى ليس كموضوع قاعدة. فعدم التماسك المنطقى لا يدع تراكبات حالات كمية متشابكة أن تختفى. فالحالات المتراكبة تظل متراكبة إلى الأبد على الرغم من أن سعاتها تصبح قريبة من الصفر فى خلال فترة زمنية قصيرة. وعدم التماسك المنطقى لا تؤدى إلى أى تداع لدالة الموجة. وهى لا تعطى أى إشارة إلى ميكانيكية فيزيائية تبين أى نتيجة قياس فردى نحصل عليها فى النهاية. ومع ذلك، فهى تنشئ وحدة بين النطاق التقليدى والكمى على المستوى الاحتمالى. وعلى وجه الخصوص، هى تشرح لماذا تتوافق ميكانيكا الكم للتشتت مع مناهج الإحصائية التقليدية فى تحليل البيانات[٢].

---

(١) المرجع Giulini et. al. 1997.

(٢) فى الدرجة الأولى لنظرية الاضطراب، تتنبأ نظرية الكم لتشتت بتشتت غير مترابط. وبذلك فبالدرجة الأولى يكون عدم الترابط مكفولاً. وفى الدرجات الأعلى من هذه النظرية يعنى عدم الترابط أن تداخل التشتت عند الذرات المختلفة يضمحل سريعًا.

مكتبة الفكر الجديد

خلاصة الأمر أن مبدأ التناظر ومبادئ التماثل معًا يعطيان شرحًا من أعلى الى أسفل للخواص الفيزيائية لجسيمات ما دون الذرة وعمليات التشتت وبنية ما دون الذرة. ولكن المبدأ الجسري الوحيد ذا الوارد المرجعى هو مبدأ التناظر. والتفسير الاحتمالى المعتاد لميكانيكا الكم ينشئ مرجعًا على مستوى نظام مكون من عدة أجزاء. وينطبق الأمر نفسه على مبدأ أسفل- أعلى الوحيد؛ أعني فرضية عدم التماسك المنطقى التى تحدث فى بيئة ديناميكا حرارية. فهى لا تشرح إلا سلوك النظام المجهرى المكون من عدة أجزاء. مبدأ وحيد هو مبدأ التناظر يزعم أن ميكانيكا الكم للتشتت ترجع إلى مسارات الجسيمات الفردية ووقائع تشتت وهى تدعم بالتماثلات وقوانين الحفظ وقاعدة الاختيار الفائق. على أن هذه القواعد كلها تعمل على نوعية الجسيم. فهم لا يعزون إلى مستوى الرمز؛ أى إلى الجسيمات الفردية ونتائج القياسات. وبالإضافة، فمبدأ الـ"لا متغيرة" البعدى يدعم الممارسة الفيزيائية فى امتداد المقياس المعروف للطول والزمن والكتلة نزولاً إلى مقياس "بلانك" مما يؤدى إلى اعتبارات بعدية رائدة عن النظم الفيزيائية على أى مقياس. ولكن هذه المقاييس تنشأ وتمدد باصطلاحات تقليدية. من هنا فالموقف المأثور لـ"بور" هو أنه يتعين صياغة نتائج القياس في فيزياء الكم بلغة كلاسيكية.

٥-٥ مقاييس الكميات الفيزيائية

إن مقاييس الكميات الفيزيائية تصاغ بدلالة الطول والكتلة والزمن. وتبنى وحدة المقاييس فى مصطلحات تقليدية على الرغم من انهيار المفاهيم التقليدية بالتدريج فى النطاق الكمى.

مكتبة الفكر الجديد

كيف يكون من الممكن ألا يؤدى بناء مقاييس الطول والكتلة والزمن من نطاق ما دون الذرة إلى نطاق دراسة علم الكون إلى تناقض؟ إن مقياس الطول يغطى حجم الكون وحجم هذه الورقة والمسافة بين الكواركات فى البروتون أو النيوترون. فحجم الكون نحصل عليه من نماذج النسبية العامة (وعلى رأسها نموذج الانفجار الأعظم) بالإضافة إلى العديد من بيانات الفيزياء الفلكية. ويقاس حجم هذه الورقة بواسطة مسطرة. وقيست المسافة بين الكواركات داخل النويد من تشتت (الليبتون – النويد) فى فيزياء الطاقة العالية كما تم التنبؤ بها فى نماذج الديناميكا الصبغية. وبالمثل يشمل مقياس الكتلة، كتلة الإلكترون وكرات البلياردو والثقوب السوداء. وتتبع الإلكترونات الكهروديناميكا الكمية وتتبع حركة كرات البلياردو الميكانيكا الكلاسيكية بينما تتبع الثقوب السوداء النسبية العامة. وطبقًا لتوجه "كون" تولّد كل نظرية عالم رؤيتها. وإذا تبنينا هذه الفلسفة فى وجه التعدادات النظرية فى الفيزياء فعلينا أن نعتقد أن مقاييس الكميات الفيزيائية تعبر عالمًا متجزءًا إذا كانت قادرة على أن تعبر عالمًا على الإطلاق.

وفى إنشاء مقاييس الطول والكتلة والزمن دون قنوط من عالم متجزء، يوظّف الفيزيائيون قواعد التوحيد التى تمت مناقشتها سابقًا. ولكن الأخيرة ليست من القوة الكافية التى تجمع الجوانب البديهية المرجعية والقابلة للتطبيق معًا. ففى النطاق الكمّى تتباعد هذه الجوانب. إن الأسس البديهية لنظرية كم لا تؤدى إلى مفاهيم قابلة للتطبيق ترجع إلى نتائج القياس الفردى. على أى الأحوال، فقواعد التوحيد والأسس القابلة للتطبيق للطول والزمن والكتلة تجعل معًا مفاهيم الأجزاء المختلفة للمقاييس؛ حيث تتداخل بقدر كاف. وبذلك ينشأ نوع من الوحدة فى المقاييس.

مكتبة الفكر الجديد

١- لقد بنيت الوحدة البديهية على قاعدة موحدة عامة. وفوق كل ذلك فقد أنشأت قاعدة الـ"لا متغيرة" البعدى وما ارتبط بها من بديهية "أرشميدسية" لوحدة المقاييس[١]. وتعطى بديهية "أرشميدس" قاعدة بديهية بالغة الضعف. فأى نظرية قائمة على الأعداد الحقيقية من المتوقع أن تستوفى مطالبها. ومن الواضح أن البديهية ليست كافية لتمديد مثل هذه النظرية لمعاملات كمية وقيم معاملات قياس[٢]. ومع ذلك فليس هناك غنى عنها لأن "لا متغيرة" التفسير الفيزيائى لميكانيكا الكم بدلالة الطول والكتلة والزمن واشتقاق الكميات الفيزيائية قائمة عليها. وبالإضافة إلى ذلك، فالتماثلات والثوابت هى فى حد ذاتها أدوات بديهية[٣]. فهى تقرر إطارًا عامًّا لإنشاء النظرية والعديد من الملامح السارة لفيزياء موحدة. وما يرتبط بها من قوانين حفظ؛ مثل حفظ الطاقة – كمية الحركة تؤدى إلى تعريفات بديهية لمفاهيم عامة توفّى متطلبات قواعد الاختيار الفائق. هى فى الواقع أحجار زاوية صورية فى إنشاء لغة الفيزياء.

٢- ومن الواضح أن الوحدة القابلة للتطبيق فى المقاييس لا تنبع من قاعدة بديهية وحيدة؛ إذ إن كل منهج قياس يأتى بأسسه البديهية الخاصة به. ولكن فى كل الأجزاء العملية الممكن الولوج فيها إلى المقاييس، يوجد

---

(١) انظر الملحقين (أ) و(ب).

(٢) وبالإضافة، يمكن توظيف مبدأ المطابقة السابق مناقشتها فى الفقرة (٥-٤). إنه يجعل التمييز العيارى لتطابق المشاهدات الكلاسيكية والكمية ممكنًا طبقًا للمرجع: Scheibe 1999.

(3) Wigner 1939, 1979.

مكتبة الفكر الجديد

العديد من مناهج القياس المستقلة المتداخلة. وعلى ذلك، فمقياس مقدار يمكن تعريفه بشكل تطبيقى من خلال سلسلة من القياسات. فمثلاً، مقياس الطول قد بنى على سلسلة من القياسات أجريت بأجهزة قياس؛ مثل اختلاف منظر النجم وأجهزة القياس الجيوديسية والمسطرة والميكروميتر والميكروسكوب والميكروسكوب الإلكترونى أو معجلات الجسيمات. وهكذا يكون مقياس كمية ما هو عنقود مفاهيم فى عرف نظرية "إليس" للقياس[1]. والجزء الممكن الولوج إليه تطبيقيا من مقياس ما هو عنقود من المفاهيم التطبيقية. إنه ينبع من كل التطبيقات التجريبية والعملية التى تؤدى إلى قياسات ذات التمثيل العددى الوحيد والنطاقات العددية المتداخلة. ففى النطاقات المتداخلة يجب أن تعطى اثنتان من القياسات للمشاهدة نفسها النتيجة نفسها على وجه التقريب. وهذا الشرط من الممكن أن نجعله دقيقًا بحيث يصبح ضروريًا وكافيًا لتعريف مقياس ما[2]. إنه قريب الشبه للملامح الغزيرة لنظرية القياس التى سبق مناقشتها فى الفقرة (٢-٥). ويعنى التداخل الغزارة.

٣- الفجوات المتبقية فى المقاييس مرجعية. وعلى أقصى حد ممكن فهم قريبين بواسطة مبدأ التناظر. ويفترض إصدار "هايزنبرج" المعمم تفسير المفاهيم الكمية بالتناظر مع الجسيم التقليدى والصور الموجية. ومن هنا تفترض مبدأ التناظر لأى نوع من الكيانات تسند إليها كتلة أو طول أو زمن مقاس: جسيمية – موجية تقابل ظاهرة كمية وصفًا

---

(1) Ellis 1968.
(2) Ellis 1968, P. 41-42.

مكتبة الفكر الجديد

تقليديًّا لمسارات جسيم أو مراكز تشتيت أو ظاهرة تداخل ...إلخ. ومن هنا يكون السؤال: ماذا عن مفاهيم كمية دون تناظر؟ إن المرجع المتبقى الوحيد لهم هو واقعية الخواص المشار إليها فى الفقرة (٦-١): مفهوم كمى (أو عدد فى المقياس الذى يقابل مشاهدًا كميًّا) يرجع إلى الخواص الفيزيائية للظاهرة الكمية التابع لها. وحامل هذه الخواص ليس إلا الظاهرة الكمية ذاتها؛ أى مسار جسيم فى الغرفة الفقاعية أو نموذج تداخل فى تجربة الشق المزدوج. فالأسلوب الذى ترجع إليه مفاهيم كمية من الممكن فهمها فقط فى اصطلاحات سياقية. فالمفاهيم الكمية تعود إلى خواص الظاهرة الكمية التى تحدث بواسطة نظام تجريبى فى سياق فيزيائى معين. ولتحقيق الوحدة المرجعية للطول والزمن والكتلة يكون هذا السياق المبرر؛ للخواص الفيزيائية لموضوعات تقليدية وظواهر كمية، كافيًا.

ويصير البناء الغامض لمقاييس الطول والكتلة والزمن أنجح ما يكون تجريبيًّا؛ حيث تعتمد كثير من التقنيات الحديثة عليها. وعلى وجه الخصوص فهى تؤدى إلى معايرة عالمية لقياسات دقيقة ومحددة للوحدات الذرية. وطبقًا للبحث الشهير لـ"هلبرت" على المنهاج البديهى تدل هذه الحقيقة على صلاحية بديهية "أرشميدس"[١]؛ ويعنى هذا بقدر كاف أن البناء التعددى للفيزياء الحديثة متعارض مع بديهية نظرية القياس والمعروف قبولها التجريبى حتى الآن. ولنظرية القياس البديهية امتداد أكبر من البنية البديهية غير الملائمة فى الفيزياء الحالية. ومن أجل الحصول على قيود لبناء جاذبية

---

(١) انظر Hilbert 1918 والملحق (أ).

مكتبة الفكر الجديد

كمية موحدة، فقد مدّوا مقاييس الطول والكتلة والزمن نزولاً إلى مقياس "بلانك". وقد ينتج عن ذلك إشكالية فى النهاية. وعلى أى حال، ففكرة الجاذبية الكمية تتلاءم بصعوبة مع صحة بديهية "أرشميدس" تحت مستوى مقياس "بلانك".

وعلى الرغم من نجاح المقاييس بشكل تجريبى فإنه من الواضح أنها قد قامت على إنشاء، وهذا الإنشاء يوحّد مناهج القياس التى تصنع قواعدها القابلة للتطبيق. وقد يجادل الفرد بأن النظرة البنائية للعلم تشرح بقدر كاف النجاح التجريبى لهذا الإنشاء. وعلى أى حال، هناك حقائق بأن الإنشائية لا يمكنها أن تشرح. وقد اتضح أن المقاييس مقبولة تجريبيًّا عندما تخضع للاختبار بمناهج قياس مستقلة. إن الإنشائية لا يمكن بحال أن تشرح الامتداد الذى يمكن أن تصنع فيه مقاييس الكتلة والطول والزمن دون أن تؤدى إلى تناقضات.

فى الحقيقة من الممكن الآن أن نستخدم حجة "بنتام" المعجزة الشهيرة للدفاع عن التفسير التجريبى للمقاييس[1]. فإذا لم تمثّل المقاييس الخواص الفيزيائية للأنواع الطبيعية، فسيكون عدم الترابط المنطقى لعنقود المفاهيم القابلة للتطبيق التى تقوم عليها مقياس كمية، معجزة. ويصنع هذا الإصدار لهذه الجدلية المعجزة ضمنيًّا ادعاءين: أولهما؛ إن إنشاء المقياس يورّط الفرد فى الاعتقاد فى الأنواع الطبيعية التى تقوم عليها الخواص الفيزيائية. وثانيهما؛ إن النجاح التجريبى للإنشاء يدل على أنه ليس اختياريًّا ولكنه يتفق مع البناء الحقيقى للظاهرة التجريبية. وعلى مقياس ما دون الذرة، فالأنواع الطبيعية التى تقوم عليها الخواص الفيزيائية هى الظواهر الفيزيائية التى يتم

---

(١) المرجع Putnam 1975. : "إن الجدل الإيجابى للواقعية هو أنها هو الفلسفة الوحيدة التى لا تجعل من النجاح العلمى معجزة". انظر أيضًا المرجع Smart 1963.

مكتبة الفكر الجديد

قياسها. ومن أجل تفادى مشكلات الواقعية التقليدية، بأى حال، فيجب اعتبارهم أشياء كمية فى عرف الكيانات المعزولة. وهكذا، يجب أن نفهم هنا الجدلية المعجزة بدلالة واقعية الخواص الفيزيائية التى تحملها الظواهر الكمية بدلاً من مواد ما دون الذرة من تلقاء نفسها. وتكون الواقعية الناتجة للخواص واقعية تجريبية (أو نقدية) فى مفهوم "كانط" كما تم بيانه بالفعل فى الفقرة (٦-١). أما إلى أى مدى تتوافق واقعية خواص الظواهر الكمية، فى النهاية، مع النظرة التقليدية للأنواع الطبيعية فيبقى هذا السؤال مراوغًا.

إننا إذ نستدعي آراء كانط بشأن هذه النقطة، ننطلق من إطار موقف "باتنام" من الواقعية الداخلية[1]. فمن ناحية، ليست الإلكترونات والفوتونات والكواركات ....إلخ خادعة فى المصطلحات التقليدية (الأرسطية) للمواد المنفردة (أو التفاصيل). ومن وجهة نظر تجريبية، فهم ليسوا إلا تجميعات لكميات محفوظة من الممكن أن تظهر أو تختفى بشكل عرضى. ومن جهة أخرى، من وجهة نظر الفيلسوف "كانط" فهو مفهومنا للمادة التى من الممكن أن نتصوره تجميعًا مثل هذا، تمامًا كبنائنا للمقاييس كشرط لإمكانية وجود الخبرة فى فيزياء ما دون الذرة. وامتداد مقاييس الكتلة والزمن والطول إلى النطاق الكمى فقط هو الذى يجعل قياسات فيزياء ما دون الذرة ممكنًا، ولم يكن هذا الامتداد التجريبى بمفهوم بسيط ولا بسبب الإنشاء فقط. ولكن مدلول المفاهيم الكمية يبقى احتماليًا. ومن هنا، يصعد السؤال الآتى الى الخاطر:

إلى أى مدى يتوافق مدلول ألفاظ امتداد الكميات التقليدية إلى النطاق الكمى؟

---

(1) Putnam 1980, 1990.

مكتبة الفكر الجديد

٥-٦ تساؤلات مجردة حول اتساق المدلول اللفظى

إن مقاييس الكميات الفيزيائية تخلق وحدة لفظية معينة فى الفيزياء. وإنشاء مثل هذه الوحدة اللفظية يجعل من الممكن أن ننسب أنواع الخواص نفسها للظواهر الفيزيائية على كل المقاييس. ووحدة المدلولات اللفظية هذه قد صيغت بلغة الفيزياء الكلاسيكية، كما أكد "بور". وعلى أي حال، هى أضعف بشكل ملحوظ من الوحدة التى تخلقها كل نظرية بديهية شاملة. إن الجوانب البديهية والقابلة للتطبيق والمرجعية للمفاهيم الكمية المتضمنة فى مقياس ما دون الذرة لا تجتمع معًا. فالمعنى القابل للتطبيق لبديهيات نظرية كمية تعطى بدلالة التفسير الاحتمالى. ومع ذلك، فالوقائع الفردية المكوّنة لتراكب كمى تخضع لقوانين قياس ذات أسس كلاسيكية. وعلى ذلك، فالمعنى البديهى والقابل للتطبيق فى مفاهيم الكم تعد متباعدة بقدر ما تعود هذه المفاهيم إلى الوقائع والنظم الفردية.

ومن وجهة نظر بديهية، فلا بد أن تتفق هذه الجوانب الثلاث اللفظية للمفاهيم الفيزيائية. وإذا حدث ذلك، فسيكون للمفاهيم البديهية والقابلة للتطبيق النماذج التجريبية نفسها. وفى هذه الحالة (وهى التى من الواضح أنها ليست معطاة لمفاهيم كمية)، يسرى رأى "أينشتين" العابر فى أن النظرية تخبرنا ما الذى يمكن قياسه[١]. إن وجهة نظر "أينشتين" العابرة هى سلوك حدسى للتعبير عن أن النظرية متناسقة لفظيًّا. وهنا نذكر أن التناسق اللفظى لم يكن

---

(١) انظر ما سبق، ونهاية الفقرة (٥-١)، والخلاف بين "هايزنبرج" و"أينشتين" حول هذا الموضوع والمذكور فى المرجع Heisenberg 1969، ص٩١، ٩٢.

مكتبة الفكر الجديد

معنيًا به فى الجانب المنطقى عند تناول نموذج رسمى. إنه يعنى بالأحرى أن مناهج القياس التى تؤدى إلى نماذج تجريبية لنظرية هى فى حد ذاتها نموذج لها[1].

وهذا التبرير الحدسى يتفق مع تناسق المدلول اللفظى الذى أدلى به "فون وسيزاكر" و"متيلشتدا". فطبقًا لوجهة "فون وسيزاكر"؛ يعنى التناسق اللفظى أن تتفق نظرية ما مع المفهوم النظرى المبدئى للظاهرة التى تطبّق عليها[2]. وهنا يلزم تحديد أكثر دقة للفظ "النظرى المبدئى". فبالنسبة إلى توجّه "بور"، المفهوم النظرى المبدأي لنظرية كمٍّ ممكن صياغته بلغة بسيطة؛ أى، بدلالة المفاهيم التقليدية المعروفة. وبهذا المفهوم "البوهرى" تكون نظرية فيزيائية متسقة فى مدلولها فقط إذا كان محتواها البديهى ممكن صياغته بمصطلحات تقليدية. ومن الواضح أن هذا المتطلب بالغ الصرامة. ويكون منطقيًا أكثر أن نستوضح المفهوم النظرى المبدأى بالمفاهيم القابلة للتطبيق التى تجعل من الممكن أن نختبر تنبؤات نظرية. وبأخذها على هذا المحمل، يكون المفهوم النظرى المبدأى لنظرية ما نابعًا من مناهج قياس مستقلة تمكن من الولوج إلى النطاق التجريبى (أو العملى) للنظرية. وتكون النظرية متسقة فى مدلولها فقط إذا كانت متسقة مع نظرية القياس فى نطاقها التجريبى. وفى

---

(١) إن اتساق المدلول اللفظى يعطى انطباعًا بأنه ليس هناك مناهج للقياس. فطالما لا تزال النظرية محل اختبار، فإنه ينتج عنها قياسات رديئة. ولذلك، فالاتساق اللفظى يجب أن يقف فقط عند نهاية تشكيل النظرية. فيجب تجنب ذلك فى نظرية لا تزال تحت الاختبار. انظر دراسة الحالة التى نوقشت فى الفقرة (٣-٥).

(٢) انظر المرجع Weizsaker 1985.: "إن الاتساق اللفظى لنظرية يعنى الفهم النظرى المبدأي الذى به نفسّر تركيبه الرياضى ويرضى قوانين النظرية". (من ترجمتي)

مكتبة الفكر الجديد

هذه الحالة، تنتمى مفاهيمها القابلة للتطبيق إلى نماذجها. وبذلك، يعنى اتساق المدلول أن المفاهيم القابلة للتطبيق لنظرية تستنتج من بديهياتها، كما يتطلب رأى "أينشتين" العابر.

ويعرف "ميتيلشتد" التناسق اللفظى بهذا الأسلوب بالضبط. فبالنسبة إليه، تكون لغة نظرية فيزيائية ولغة ما يتبعها من قياسات تربط لغة موضوع وما وراءه من لغة بالعرف بعرف "تارسكى" اللفظى الخاص[1]. وطبقًا لوجهة النظر الـ"تارسكية" للغة الفيزياء، فالتناسق اللفظى يعنى أن اللغة الفوقية من الممكن أن تكون جزءًا لا يتجزأ من الموضوع. وبالنسبة إلى لغة الفيزياء، فهذا يعنى بالضبط أن المفاهيم القابلة للتطبيق التى تقوم عليها مناهج القياسات والتى تقوم باختبار نظرية ما، تصبح فى النهاية منبثقة من بديهيات هذه النظرية.

وبالإضافة إلى ذلك، فقد أوضح "ميتيلشتد" أن ميكانيكا الكم متسقة لفظيًا على المستوى الاحتمالى فى حين أنها غير متسقة لفظيًا على مستوى القياسات الفردية والنظم الفيزيائية.

فالمعنى القابل للتطبيق لمفاهيم كمية تقوم على تفسير "بورن – فون نويمان" الاحتمالى لميكانيكا كميّة. وينبثق الأخير على أي حال من بديهيات ميكانيكا كمية دون قياس (أى دون مسلّمة "فون نويمان")[2]. فى نموذج من النظم الكمية المتعددة المستقلة الفردية اللا نهائية[3]. وهى متسقة لفظيًا إلى

---

(1) Mittlestaedt 1986; 1995.

(2) Von Neuman 1932.

(3) Mittlestaedt 1997a&b. و Mittlestaedt 1999.

مكتبة الفكر الجديد

حد ما. ولكن النظريات الرياضية غير المعارضة التى تقدر نتائج قياسات ميكانيكا الكم لا تزال باقية[1]. فهى تبين أن ميكانيكا الكم ليست متسقة لفظيًّا على المستوى الفردى؛ حيث إن ميكانيكا الكم لقياس ما، قادرة على الإطلاق لتوضيح كيف تحدث نتيجة قياس فردى. وبذلك لا ترجع ميكانيكا الكم فى حد ذاتها إلى نظم فردية. وفى الحقيقة، تتفق مفاهيم فيزياء الكم القابلة للتطبيق فقط على المستوى الاحتمالى بمفاهيم بديهية لميكانيكا كمية. وعلى مستوى النظم الفردية لا تكون المفاهيم القابلة للتطبيق مفاهيم كمية؛ حيث لا ترجع إليها المفاهيم الفردية. ومن هنا تم توظيف مسلّمة "فون نويمان" الإسقاطية لجذب ميكانيكا الكم البديهية لتهبط إلى أرض الفرديات.

إن مناهج القياسات التى تمت مناقشتها فى هذا الباب هى أكثر تعقيدًا بكثير. ولكنها تؤكد بدقة على النتائج الرسمية المعروفة جيدًا. إن مناهج القياسات لفيزياء الجسيمات قد تم تصميمها للتغلب على عدم قابلية التطبيق للمفاهيم التقليدية والكمية على المستوى التطبيقى. ويعتبر ذلك غير ملائم قليلا؛ حيث إن المفاهيم القابلة للتطبيق لفيزياء الجسيمات التجريبية تناسب قياسات الموضع الفردية ومسارات الجسيمات وعمليات التشتت بينما لا تشير المفاهيم البديهية لميكانيكا الكم للتشتت إلى أى واقعة أو مسار فردى. وفى الحقيقة تتغلب الممارسة الفيزيائية على هذه الصعوبة بنجاح تجريبى منقطع النظير. إنها تعمل بإنشاء مقاييس موحدة لكميات تطبيقية؛ حيث لا توجد

---

(١) انظر المراجع:

Mittlestaedt 1997a,b Mittlestaedt 1999.Mittlestaedt 1998a. و

وانظر أيضًا نتائج سابقة وخاصة فى المرجع .Von Neuman 1932.

مكتبة الفكر الجديد

نظرية بديهية. وفى فيزياء الجسيمات فالكميات الأساسية التطبيقية هى الطول والزمن والكتلة، ولكن الكميات المشتقة من كمية حركة وطاقة تؤدى إلى مقياس مهم على الرغم من ذلك. إن تحليل البيانات لتجارب تشتت تقوم على إلصاق قوانين قياس تقليدية (التى تنطبق على مسارات الجسيمات الفردية) مع تصحيحات كمية (التى تنطبق على المستوى الاحتمالى).

ولتحليل مسارات الجسيمات تعمل هذه المفاهيم كما يلى: إن ميكانيكا الكم للتشتت متسقة لغويًا، على المستوى الاحتمالى، مع حصيلة نتائج القياسات التقليدية، بينما هى ليست كذلك على مستوى نتائج القياس الفردى. وقد كان ذلك المعتقد فاصلاً فى حالة دراسة الطاقة المفقودة التى سبقت فى الفقرة (٣-٥). ففى الدرجة الأولى لنظرية التشتت، يتم إهمال التشتت المترابط وبالتالى يكون القياس الفردى لنقاط مسار جسيم تعود لمجرد تشتت غير مترابط. وبذلك هى تحدث مستقلة دون أى ميكانيكية عدم ترابط إضافية (والتى تعمل بالعكس على المستوى الاحتمالى). ففى درجة أولى لنظرية التشتت، هناك تناغم سابق التجهيز لميكانيكا الكم لمسار جسيم والصورة الكلاسيكية التى تقرّ بأن نقاط القياس الفردية تتولّد مستقلة عن بعضها البعض. ومع ذلك فتطبيق حسابات "بيث" الاحتمالية للطاقة المفقودة من الجسيمات المشحونة فى المادة على مسارات الجسيمات الفردية يصبح قابلاً للتبرير إذا تم تصحيح الأخطاء الناتجة بهذه الطريقة على المستوى الاحتمالى لمسارات الجسيمات المتعددة[١].

---

(١) انظر الفقرة (٤-٣-٥).

مكتبة الفكر الجديد

وهكذا، فالفيزياء الكمية غير متسقة لغويًّا على المستوى الفردى للوقائع ولكن من الممكن تناول هذا الأمر على المستولى الاحتمالى. فالنتائج الرسمية تخبرنا أن ميكانيكا الكم لا ترجع إلى نظم فردية ولكن ترجع فقط إلى تجميعات إحصائية. ويتأكد هذا الزعم بنظرية القياس غير المتجانسة لفيزياء الجسيمات. والذى يشير إلى النظم الكمية الفردية هى القوانين الكلاسيكية ونصف الكلاسيكية للقياسات فقط ولا تشير إليها القوانين الكمية الأصلية. وإشارة قوانين الكم الأصلية إلى النظم الكمية الفردية من الممكن أن تقوم بالأسلوب الآتى:

(أ) بواسطة السياق التجريبى؛ أى بالجهاز التجريبى المحدد الذى تحدث فيه الظاهرة الكمية.

(ب) على المستوى الاحتمالى لنتائج قياسات متعددة فردية التى يتم الحصول عليها فى السياق العملى نفسه وتنتمى إلى النظام الكمى نفسه.

(ج) بدلالة قواعد الاختيار الفائق للكميات المحفوظة كالكتلة والشحنة والمغزلية وما يقابلها من قوانين الحفظ وفقًا لأى عمليات التشتت يتم تحليلها.

(د) باستخدام مبدأ التناظر لـ"بور" أو النسخة التعميمية له لـ"هايزنبرج".

وهذه الطرق الأربع تساهم فى جعل نظرية الكم متسقة لغويًّا لكل أغراض الممارسة؛ أى بمغزى ناشط غير صوري. ومن الممكن تطبيق نظرية الكم على النظم الفردية إذا أخذنا فى اعتبارنا:

مكتبة الفكر الجديد

(أ) السياق العملى (التجريبى). (ب) قياس متكرر للنظام نفسه. (ج) قواعد الاختيار الفائق، أو(د) بتوظيف مبدأ التناظر العمومية من أجل استنتاج نماذج كمية لعواقب وقائع ما دون الذرة والتوزيع الشحنى وغيره. وبصفة عامة، طريقتان أو أكثر من هذه الطرق تكفى للحصول على ظواهر كمية محددة وبالتالى تجتمع النظم الفردية معها.

وعلى وجه التحديد، فالسياق التجريبى وحده (وطريقتنا فى تصويرها فى مصطلحات تقليدية) تجعل من الممكن التحدث بطريقة غير واضحة عن الموضوعات الكمية. إن نظرية الكم وحدها لا تسمح بإنشاء موضوعات فى وجهة النظم الزمانية المكانية بموضع ومدة زمنية. وتلخيص خواص الجسيم من كتلة وشحنة أو مغزلية من سياقه العملى أو البيئى يعنى تركيب الموضوعات الزمانية المكانية وعدم الاحتفاظ إلا بحزمة من الخواص الديناميكية للأنواع الخاصة بها. تلك الحزمة مكونة من تلك المقادير التى يمكن قياسها بطرق حرة فى الوقت نفسه فى أى تجربة. والموضوعات الكمية المجرّدة ما هى إلا حزمة من الخواص التى تقوم عليها قواعد الاختيار الفائق والتى تبدى ارتباطات غير متموضعة وغير صورية. وتمضى، بشكل ما، هذه الحزمة من الخواص الديناميكية خلال سياق تجريبى أخذًا فى الاعتبار قوانين حفظ الكتلة والشحنة والمغزلية (وكذلك الشرط السببى "لأينشتين" أن انتقال الإشارة الضوئية ممكن فقط فى إطار المخروط الضوئى). إنها تبدو كما لو كانت جواهر تجريبية بمعناها لدى "لوك"؛ بمعنى

مكتبة الفكر الجديد

أنها تراكم لخواص تجريبية تسير بالتساوى مع بعضها البعض[١]. وعلى أي حال، هى تفرّد فقط بالجهاز العملى الذى تقاس به أو بالظاهرة الكمية التى تنتمى لها. وفيما يتعلق بمرجع ما، فكنيتها خلال الظواهر وكذلك ملامحها غير الموضعية لا تزال غامضة. وهى من الممكن تفريدها فقط كظاهرة كمية تابعة للسياق. ودون سياق تجريبى معين، فمرجع أى مفاهيم كمية تغدو ضالة. وفى هذه النقطة فقد أصاب "بور" تمامًا حتى يومنا هذا.

فى قياس ظاهرة كمية، يتم توظيف المفاهيم التقليدية والكمية. وحتى القيم المتوقعة الاحتمالية للمشاهدات الكمية تصاغ بدلالة المقادير الكلاسيكية: الكتلة والزمن والطول. وطبقًا لنص "بور" الموثوق به من تفسير "كوبنهاجن"؛ أى النظرة المكملة لميكانيكا الكم، فالأخيرة تخدم بإعطاء المعنى الفيزيائى لملخص مفاهيم نظرية كم[٢]. ويؤكد ذلك وجهة "بور" فى ميكانيكا الكم التى طبقًا لها تجعل مبدأ التناظر إمكانية صياغة ظاهرة كمية بلغة الفيزياء الكلاسيكية. وهذا المعنى الفيزيائى، بأى حال، لا يصاغ بدلالة المشاهدات التجريبية؛ بمعنى، مفردات مشاهدات معتنق المذهب التجريبىّ. وبالأحرى، تصاغ بدلالة خواص، وهى المسماة الكميات الفيزيائية التقليدية. وقد كان "بور" هو من أكد أنه ليس من الممكن بناء موضوعات كمية خارج هذه الخواص[٣].

---

(١) انظر المرجع Lock 1689, book II, chap 23 والفقرتان (٦-١) و(٣-٦). وحول السؤال عن حاملات هذه الصفات، تبقى مفاهيم ميتافيزيقية تخالف فكرة اللا تغير لـ"لورنز" طالما لم يتم تبنى وجهة نظر "كانط"، والتى طبقًا لها يجعل الخداع فى مفهومنا للمادة فى النهاية ممكنًا عن كونها تجميعًا للصفات.

(٢) انظر الفقرة (٧-٢) والمرجع Howard 2002.

(3) Bohr 1948

مكتبة الفكر الجديد

وهكذا لا يكون هناك غنى عن مبدأ التناظر التعميمي لتمديد مقاييس الكميات الفيزيائية إلى النطاق الكمى. إنه مبدأ ما وراء النظرية حول العلائق الداخلية بين النظريات. على أي حال، إنها تبنى علاقات داخلية متميزة بين النظريات. إنها تعطى ميكانيكا الكم نماذج راسخة هى نظم فردية شبه كلاسيكية. ولصياغة ذلك فى مصطلحات أخرى، نقول: إنه مبدأ جسري يجعل من الممكن لميكانيكا الكم أن تسيطر على تطبيقاتها التجريبية. ولكن هناك نماذج لنظريات الفيزياء الكلاسيكية بدلاً من مشاهدات من وجهة نظر تجريبيّ. وهذا المبدأ الجسري يؤدى إلى قياس عام لمفاهيم غير قابلة للقياس بالمعنى الذي قدمه كون في أطروحته للامقياسية.

وبدلالة نظرية القياس المجرد، فإنها تسد الفجوة البديهية والمرجعية بين المفاهيم المتباينة القابلة للتطبيق. ومن جانب معين، فالتناظر العمومى يكون، على الفور، أكثر وأقلّ قوة من القواعد الموحدة الأخرى. فهو يعطى وحدة جزئية للمدلولات اللغوية الفيزيائية؛ حيث لا توجد وحدة بديهية. ومع النظريات البديهية تصنع العمود الفقرى للبناء المعمارى للفيزياء الحالية[1].

وعند هذه النقطة، ممكن أن تصاغ الخلاصة العامة حول تفسير نظرية الكم. إن نظرية الكم بشكل عام (شاملة نظريات المجال الكمى النسبى الحالية لفيزياء الطاقة العالية) ليس لها تفسير واقعى يقوم عليها مرجع لنظم فردية.

---

(١) بقدر ما أرى، فوجهة نظر غير معتنق منهج التجريب عن التطابق كمبدأ انتقالى هو منسجم مع طريقة "تانسى كارترايت" فى نقد مبادئ معتنق تجريب الانتقالى (المرجع Cartwright 1983.). وعلى أى الأحوال، فهذا يتعارض مع نظرتها فيما بعد حول الفيزياء غير الموحدة تمامًا كما اقترح فى المرجع Cartwright 1999.

مكتبة الفكر الجديد

وبواسطة مبدأ الاختيارات الفائقة فقط، تطبق الفيزياء الكمية مبدأ التناظر وخلافها على النظم الفردية. ونظرية الكم فى حد ذاتها تسوق الفرد إلى تفسير تراكب ما[1]. وفى الحقيقة، تلك هى بالضبط طريقة أخرى للقول بوجهة حاسمة: إن ميكانيكا الكم متسقة لغويًا فقط على المستوى الاحتمالى. إن التفسيرات الميتافيزيقية الحالية لميكانيكا الكم في حالة تعارض مع المبادئ النسبوية ولا تُتيح مخرجًا من هذا المأزق.

(١) إننى مدين لـ"ف.راينهارد ورنر" فى لفت نظرى إلى هذه النقطة، ففى تباين واضح مع وجهات نظرى السابقة التى تم التعبير عنها فى المرجع .Falkenburg 1995 ، طبقًا لفهمى الحالى للفيزياء الكمية، يغدو تطبيق نظرية الكم على نظام فردى محدثًا استخدامًا ضمنيًا لمبدأ التناظر التعميمية.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل السادس

تحول جوهرى فى المفهوم الجسيمى

يُمثل تاريخ القرن العشرين في معرفة المفهوم الجسيمي رواية عن التخلص من الأوهام. فقد اتضح أنه ليس ثمة جُسيمات بالمعنى الكلاسيكي في مجال ما دون الذرة. فلا الذرات ولا أجزاء مكوناتها ولا أسباب مشاهدة مسارات الجسيمات في الغرفة الفقاعية ولا مراكز التشتت شبه النقطية أو الممتدة لمادة قيد البحث تُمثل جُسيمات كلاسيكية. وسيتضح عبر مسار هذا الفصل أن المفهوم التعميمي لجُسيمات الكم ليس متاحًا أيضًا. فالجسيمات هي بالأحرى ظواهر تجريبية وليست كيانات أساسية.

ومع ذلك فإن مفهوم الجُسيم لم يتم هجرانه. فلم يزل الفيزيائيون يتحدثون بعد ثورة الكم عن الجُسيمات. إلا أنهم يقومون بذلك مع اختلاف في المعنى. فمن ناحية ما زال النموذج الكلاسيكي للجُسيم مُستخدمًا؛ إذ لا غنى عنه في قياس الأحداث وتسجيل مسارات الجسيمات عن طريق عدادات جيجر والمستحلبات النووية والغرف الفقاعية ومزيد من العدادات الجسيمية الحديثة. لقد تم التوسع في نظرية القياس الكلاسيكية للجُسيمات دون الذرية وتصحيحها عبر مسار ثورة الكم، إلا أن مضمونها الكلاسيكي ظل كما هو. وعلى الجانب الآخر فقد ظهر العديد من المفاهيم الكمية لتخلف المفهوم الكلاسيكي للجُسيم. وقد كان يتعين ألا تختلط هذه المفاهيم بالمفهوم الكلاسيكي للجُسيم. فقد نتجت عن العديد من التحولات في المعنى بشأن الجُسيمات الكمية.

مكتبة الفكر الجديد

إلا أن هذه التحولات في معني المفهوم الجسيمي لم تؤخذ في حسبان فلسفة الفيزياء. ونتج عن ذلك العديد من مظاهر الغموض في المفاهيم. فلم يعد اليوم مفهوم الجُسيم مفهومًا فريدًا. فبالإضافة إلى المفهوم الكلاسيكي للجُسيم، ثمة عائلة من المفاهيم الكمية للجُسيم. ويُمثل تحليل هذه العائلة من الفاهيم والعلاقات بين أعضائها مهمة هذا الفصل. وعلى الفلاسفة الحذر إزاء هذه النقطة؛ إذ تعتمد جُسيمات الفيزياء الحالية على التفسير الاحتمالي المُعتاد لنظرية الكم. ويتعين على المرء أن يقوم بالأمر نفسه إذا ما أراد فهم الأوجه العديدة لما يُدعى اليوم "جُسيم". ومن ثم فإنني لن أتناول فيما سيلي النقاش الفلسفى بشأن أسس ميكانيكا الكم أو السجال الحديث بخصوص الجوانب الأنطولوجية لنظرية مجال الكم[1]. إننى أنشد فحسب توضيح ما يقصده الفيزيائيون حين يتحدثون عن الجُسيمات فيما بعد ثورة الكم.

بالمقارنة بالمفهوم الكلاسيكي للجسيم (CP) فقرة (٦-١) أدى ظهور فروض ميكانيكا الكم والكم الضوئي إلى حدوث تحولين سيمانطيقيين. وهو ما أدى إلى ظهور المفاهيم الجسيمية (QM)، (LQ) فقرة (٦-٢). إن أساسها التجريبي هو المفهوم الإجرائي للجُسيم (OP) وهو مُعتدل من الناحية الميتافيزيقية وإن كان غير متحفظ الفقرة (٦-٣). تذهب فلسفة اللغة حاليًا إلى أن المعنى هو الاستخدام. وعلى المستوى البديهى، يستعمل الفيزيائيون المفهوم الكلاسيكى للجسيم بالإضافة إلى عدة مفاهيم جسيمية مثل الموجودة في نظريات الكم، وحتى إنهم استخدموا أكثر من هذا وخصوصًا مفاهيم المجال الكمى (FQ) ونظرية المجموعات (GT) والجسيمات الافتراضية

(1) Brown and Harre 1988 , Auyang 1995, Teller1995, Cao1999, Kuhlmann et al 2002.

مكتبة الفكر الجديد

(VP) والجسيمات الشبيهة (QP) التي نوقشت. وتشترك هذه المفاهيم الكمية جيمعها في أنها تعزو للجُسيمات خصائص غير موضعية أو شبه موجية فقرة (٦-٤). وقد أحدثت أيضًا رؤى جديدة حول الأجزاء المكونة للمادة (MC)، وهنا نجد أن النموذج الكواركي على وجه الخصوص بحاجة إلى إمعان النظر فقرة (٦-٥). ما الشيء المشترك بين هذه المعاني كلها؟

وبغض الطرف عن الجُسيمات الافتراضية؛ تبقى الاستقلالية أو عدم الاعتماد وعدم الاتصال وقابلية تجميع الكميات المحافظة المعالم العامة للجسيمات (GP). لكن بالمعنى الدقيق فإن هذا يسري على المجال غير النسبوي فحسب. إن الكيان الداعم يتمتع بمعالم المجال، إذا ما كان من المُفيد التساؤل عن هذا الكيان من الأساس فقرة (٦-٦).

ومن ثم لم يتبق بعد ثورة الكم سوى مفهوم غير صوري للجُسيم. هذا المفهوم أكثر من مجرد حديث عابر. إنه أكثر اعتدالاً من الناحية الميتافيزيقية من المفاهيم الميريولوجية والعلية للجُسيم المرتبطة بالفيزياء الكلاسيكية. إن لها أساسًا إجرائيًّا ذا علاقات مُحددة بنظريات الكم السائدة، كما أن له بعض السمات النمطية، من بينها الاستقلال الإحصائي.

٦-١ الجسيمات الكلاسيكية

إن "الجسيم" يعني ببساطة "جزءًا بسيطًا من الكل"، والمعني الأصلي للمفهوم الجسيمي هو معنى ميريولوجي وليس عليًّا. وهو ينبني على علاقة الجزء بالكل بين الجواهر المادية وأجزاء مكوناتها الميكروسكوبية[١]. لقد

---

(١) انظر الملحق (هـ).

مكتبة الفكر الجديد

افترضت الذرية القديمة أن المادة تتكون في إطلاقها من أجزاء متحركة لا يُمكن اختراقها نهائيًا وينشأ عنها جميع الأشياء المادية. وبالرجوع بالزمن إلى ديكارت ونيوتن معتبرين هذه الجسيمات المكونة للمادة كأجسام ميكانيكية صغيرة جدًا محمولة (كريات)، وظل حتى نهاية القرن التاسع عشر افتراض تبعيتها لقوانين الديناميكا الكلاسيكية، وهي توصف بأنها نقاط كتلية مثالية، وقد جاء المفهوم الكلاسيكي للجسيم بالأفكار الذرية القديمة وبرياضيات الوجهة الميكانيكية وكلاهما معًا، ففي الوجهة الكلاسيكية تتصرف أجزاء المادة بأشباه الأجسام السماوية الدقيقة التي تتحرك خلال مسارات محددة، وطبقًا لهذا فإن كل جسيم يكون له مسار موحد والذي يحدد كاملاً عن طريق قوى خارجية.

ومن ثم يكون للجسيمات الكلاسيكية خصائص فيزيائية كالتي للأجسام الميكانيكية، تكون خصائصها المكانية – الزمانية هى الموضع والسرعة (غير نسبوية) والعجلة أو التسارع وجميع الكميات متغيرات القيمة (بارامترات) بواسطة الزمن، وتكون خصائصها الديناميكية هي كتلة القصور الذاتي m_i، والشحنة الكهربية q_e، وكتلة الجاذبية m_g(الكتلة الجاذبية التي تتفق عدديًا مع كتلة القصور الذاتي) والكميات المستنتجة مثل كمية الحركة p والطاقة E، واستمر النسق البسيط للميكانيكا الكلاسيكية عن طريق الثلاث مسلَّمات لنيوتن، وقد انبنى سرد أكثر تفصيلاً على معادلات لاجرانج وهاميلتون، وأحدثت هذه النظم لهذه المسلَّمات خصائص مطابقة للجسيمات الكلاسيكية والتي قد ينص عليها بواسطة القائمة المتوقعة التالية:

(CP) الجسيمات الكلاسيكية تكون:

مكتبة الفكر الجديد

(MQ) حاملات الكتلة m والشحنة q.

(INDEP) مستقلة عن بعضها بعضًا.

(POINT) أشباه النقط في التفاعلات.

(CONS) موضوع خاص بقوانين الحفظ.

(LOCAL) موضعية.

(DET) يتم تعيينها كاملاً عن طريق قوانين الميكانيكا.

(TRAJ) تتحرك في مسارات أو مدارات في طور فضائي.

(iDIV) مفردة زمانية مكانية (أو وجود مستقل).

(BOUND) قابلة لتكوين نظم مقيدة.

إن خصائص (MQ) و(POINT) و(LOCAL) تعبر مجتمعة عن حقيقة أن الجسيم هو "نقطة كتلية"، وهى مطابقة لأنطولوجيا الجُسيم. وعلى ضد الجسيمات الكلاسيكية تكون المجالات والموجات غير موضعية. وتكون خصائص الـ (LOCAL) و(TRAJ) و(INDIV) مطابقة لمفهوم الجسيم الكلاسيكي، وأنها تحل محل أو تتخطى ما في الكمية بطريقة ضعيفة، كما أن الـ (DET) تكون متوافقة مع الميكانيكا الكلاسيكية ونظريات المجال الكلاسيكي، وفي جميع النظريات الكمية فإنه يحل محلها التحديد الاحتمالي.

إن خاصية (INDEP) تكون حاسمة لمفهوم الجسيم الكلاسيكي وتعميماتها، كما سوف نرى فيما يلي، إنها تعني أن الجسيمات تتفاعل حرة بصفة مبدئية أو باعتبارها غير مقرونة ومن ثم تعتبر مستقلة (غير معتمدة)

مكتبة الفكر الجديد

إحصائيًا، وبأكثر دقة، فإن الجسيمات غير المعتمدة هي في حالة غير مقيدة وتعتبر (على وجه التقريب) غير متفاعلة ما عدا التفاعل عن طريق التصادمات ومن ثم فإن لها حركة داخلية فقط وأن حزمة الشروط الابتدائية لحركتها تكون غير مرتبطة إحصائيًا، وهذا يعني في الميكانيكا الكلاسيكية أن مواضع وكميات حركة الجسيمات تكون غير مقرونة ببعضها، وهذا النموذج أوجد نظرية الحركة للغاز المثالي ومعادلات بولتزمان، وبصفة عامة ونتيجة القوى فإن الجسيمات لا تكون مستقلة (أو غير معتمدة)، ومع هذا فالمفهوم تمامًا قبل افتراض القوة أن حالة التفاعل الحر تكون كالاحتمالية النوعية، وفي الحقيقة فإن ما قبل افتراضات أي ديناميكا فيزيائية خطية قد تكون الأشياء المتواجدة غير المتفاعلة لها شروط خاصة غير مقرونة خاصة بحركتها، وفي معظم المعنى العام، فإن:-

(INDEP) عدم الاعتمادية تعني أن الجسيمات:

(UNCOUP) قد تكون في حالة غير تفاعلية أو حالات غير مقرونة، و

(UNCORR) شروطها الابتدائية تكون غير مرتبطة إحصائيًا.

تشترك خصائص (INDEP) و(POINT) و(CONS) عن طريق وجهة النظر الكلاسيكية للميكانيكا وميكانيكا الكم ولجميع نظريات المجالات الكلاسيكية والكمية وهي تعتبر امتدادًا معينًا لما وراء النظرية والشيء نفسه حقيقي بالنسبة إلى الخصائص الديناميكية لـ(MQ)، وقد تتغير الخصائص الديناميكية لما هو موجود بالقائمة، ولكنها دائمًا تقتصر على ما يتعلق بالتماثليات والكميات المحافظة في الفيزياء. وتعني (POINT) أن الجسيمات

مكتبة الفكر الجديد

تتفاعل موضعيًا وأن (CONS) مصحوبة بتماثلاتها، ولكي نتجنب التشوش يكون عن طريق عدة خصائص للكثير من الجسيمات، وإني لأحتفظ بالبيانات أو الرموز الموجودة خلال هذا الفصل لـ(INDEP) و(POINT) و(CONS) حتى لو أن معنى هذه الخصائص الجسيمية سوف يتغير في الانتقالات إلى ميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي.

ومع هذا فيجب أن نتذكر المعنى الدقيق لهذه التنبؤات أو التوقعات النظرية المعتمدة على السياق النظري، يتأثر المعني لـ(INDEP) عن طريق الانتقال إلى نظرية الكم بطرق متنوعة كما سنتناوله بالمناقشة في جانب من هذا الفصل ويجمعه في فقرة (٦-٦). في الميكانيكا الكلاسيكية، تجد أن (POINT) تنص على أن الجسم يمكن إحلاله بمركز جاذبيته، ولكن في نظرية المجال الكلاسيكي فإن (POINT) تعني أنه لا يوجد فعل -عند- مسافة، فقط تكون تفاعلات النقط الشبيهة متوافقة مع السببية الخاصة بأينشتين؛ أي متوافقة مع متطلبات إمكانية وجودها على وجه بارز داخل مخروط الضوء فقط وعلى سطحه ولكنها ليست على المسافات شبه فضائية، تحتوى (CONS) على حفظ كمية الحركة والطاقة وكمية الحركة الزاوية، وقوانين الحفظ تقترب بعلاقة المجموعة التماثلية للديناميكا الأساسية وهي هنا مجموعة جاليليو، وفي النظرية النسبوية تصحب بمجموعة بوانكاريه محدثة بقاء أو حفظ كمية الحركة – الطاقة أي ثبات كمية الحركة المربعة – والطاقة ذات المتجة الرباعي. إضافة إلي إحداث مجموعة القواعد التي تبرز نماذج الأنظمة المقيدة والنماذج المصاحبة المكونة للمادة، إن التحويلات النظرية للخاصة الجسيمية (BOUND) قد فحصت بمزيد من التفصيل في فقرة (٦-٥).

مكتبة الفكر الجديد

وجد بالمجال دون الذري أن المسارات الكلاسيكية (TRAJ) تكون غير معينة تجريبيًّا فى ظواهر فيزياء دون الذرية، وكلما كان العداد الجسيمي في ثبات مكاني أفضل كان أفضل في مشاهدة المسارات الجسيمية بقدرة تحليلية في القياسات النقطية المنفردة، وفي رؤية أنه لا يوجد قياس لمسار متصل ولكن فقط مواضع متقطعة. إن عدم التحديد التجريبي هذا للمسار الجسيمي لا يكون عن طريق الوسائل العرضية وأنه لا يعتمد على اختيار نوع العداد الجسيمي، ولكن تعتمد تمامًا على احتماليات القياس الموضعي بالجهاز الماكروسكوبي، وكما استنبط بورن في مهد ورقته البحثية للتحليل الاحتمالي لميكانيكا الكم؛ حيث وجد أنه يستحيل مبدئيًّا أن يتتبع كل مسار جسيمي في عملية التشتت دون الذري، لقد أحدثت الفيزياء الكلاسيكية تأكيدًا غير مستقر حول الأحداث دون الذرية بينما أحدثت ميكانيكا الكم هذا الاستقرار دونهم.

هنا تظهر مشكلة الحتمية بأسرها. فمن وجهة نظر ميكانيكا الكم، لا يوجد أي مقدار في حالة منفردة مسببًا تثبيت نتيجة التصادم ولكن أيضًا لا نجد سببًا عمليًّا الآن نعتقد أنه يوجد بعض الخصائص الداخلية للذرات والتي تشترط نتيجة محددة للتصادم. هل نتوقع أن نأمل في المستقبل اكتشاف مثل هذه الخصائص (مثل الأطوار الحركية للذرية الداخلية) وأن نحددهم في حالات منفردة؟ أو هل نتوقع الاعتقاد بأن تتوافق النظرية مع التجربة – كما هل يستحيل سقوط الشروط مع مرور الزمن للتحول السببي – أو هل يوجد انسجام قبل الاستقرار من عدم وجود مثل هذه الشروط؟[1] .

(1) Born 1926a, 51; translation from Wheeler and Zurek 1983, 54.

مكتبة الفكر الجديد

ومن ثم فإن المسار الذي يصل النقاط المقاسة لمسار الجسيم يخص الملامح غير التجريبية للمفهوم الكلاسيكي للجسيم، وأنها مفهوم كلاسيكي أساسي أو بديهي دون نظير تأثيري، ومن وجهة النظر التجريبية فإن ذلك يختص بالميتافيزيقا حتى لو أن نموذج النتائج للمسار الجسيمي في صور الغرفة الفقاعية ناتج من تركز الزمانى- المكانى للقياسات الموجية المتتالية. وفي المعنى المتعلق بالعهود الملكية لعلم الوجود[1]. فقد عهدت لنا بالجسيم الكلاسيكي.

هذا النموذج النتائجي لا يتوافق حقيقة مع ميكانيكا الكم حتى ولو بالأخطاء القياسية في الموضع وفي كمية الحركة على طول المسار الذي في العادة يكون أكبر من عدم التحديدية المتوقعة بواسطة علاقة عدم التحديد لهايزنبرج بمقدار الأس العاشر. وإنه معلوم جيدًا هذه الأيام أن نموذج النتائج الكلاسيكي هذا يكون ملائمًا تجريبيًّا فقط عند القياس الماكروسكوبي وعند الطاقة المنخفضة للجسيمات دون الذرية. وكلما زادت الطاقة للجسيم أخطأ نموذج النتائج الكلاسيكي[2]، فمسار الجسيم لا يكون سببه الجسيم الكلاسيكي وإنما يكون نتيجة التفاعلات دون الذرية التي هي موضوع ميكانيكا كم التشتت.

= وهنا عرف بورن العلية والحتمية. وقد هوجم هذا التعريف عن طريق كاسيرر في عام ١٩٣٧، ومع هذا أصبحت تلك التعريفات مؤثرة في مناقشة ميكانيكا الكم.

(1) Quine, On What There Is.

(٢) انظر (الفقرة ٥-٣).

مكتبة الفكر الجديد

٦-٢ انتقال إلى الجسيمات الكمية

مع تقدم نظرية الكم ظهر مفهوم الجسيم الكلاسيكي، ولكن بقيت عدة طرق غير صورية للحديث حول الجسيمات، حتى يومنا هذا يسمي الفيزيائيون الموجودات الدقيقة الذرية والنووية والفيزياء الجسيمية "جسيمات"، ولإعطاء مثال واحد فقط في متن الكتاب: فقد عرفنا في أيامنا الحالية سلسلة كاملة من الجسيمات الأولية، أمثلة الإلكترون (e) والفوتون (γ) والبروتون (p) والنيوترون (n) والميزون باي أو البيون (π) والميزونات (K) والهيبرونات (Λ, Σ وهكذا) ومن هؤلاء ما هو معروف من زمن طويل كالإلكترون في ذاك الوقت (طومسون ١٨٩٧) ظل الاعتقاد سائدًا في صلاحية الفيزياء الكلاسيكية والتي فيها تنتقص مفاهيم كل من الموجات والجسيمات تمامًا، وذلك حقيقة لم تزد عن كونها حدثًا تاريخيًّا بأن الإلكترونات أول المشاهدات في تجربة والتى تتصرف شبيهة بالجسيمات الكلاسيكية [...] وفي حالة الكمات الضوئية فالوضع معاكس تمامًا [...] وكانت الفكرة الثورية لأينشتين – في فرض الكم الضوئي والذي يتصرف فيه الضوء بافتراض أن له طبيعة جسيمية (أينشتين ١٩٠٥). عند أول تقابل مع الشك الكبير، الذى أخذ حوالي عشرين عامًا قبل الموافقة على أن تقبل الكمه γ "كجسيم" [...] وبمرور الوقت، ومع ظهور ميكانيكا الكم تحقق أن الجسيمات والموجات لا يمكن النظر إليهما كظواهر منفصلة تمامًا ولكن يجب استبدالهما باعتبارهما سمتين للظاهرة نفسها[١].

---

(1) Nachtmann 1990,3.

مكتبة الفكر الجديد

هنا يستعمل المقطع "جسيم" في عدة معان مختلفة، نسمي أربعة منهم:

- الجسيمات الأولية (إلكترونات وفوتونات وبروتونات وهلم جرًّا)
- الجسيم الكلاسيكي.
- كمة ضوئية.
- السمة الجسيمية للظاهرة والتي لها أيضا سمت موجي.

على ما يبدو أن المفهوم الجسيمي في أصله يكون مصحوبًا بوجهة النظر الكلاسيكية الميكانيكية ولم يكتمل ظهورها مع الثورة الكمية، وأعطي معنى جديدًا فقط، ولكي نكون أكثر دقة فإنه يعطي عدة معانٍ جديدة أحدثت معنى مشوشًا في الحوار بين الفيزياء والفلسفة، مع هذا ففي مجتمع الفيزياء لم يشتكِ أحد من هذا التشويش، وبالطبع كان بجانب هذا القليل من تضييق المعني وقفت في شراكة حقيقية في إثبات وجود الجسيمات دون الذرية مهما كان الاعتقاد، وهذا الاعتقاد يكون مصحوبًا باتهام قوى أن المرجعية لهذا المقطع المسمى "جسيم" يبقى ممتدًّا على الأقل ببعض الاستقرار عندما يطبق على الظواهر الكمية. ماذا يجب أن نفكر في هذا الاعتقاد الحقيق بوجود الجسيمات دون الذرية؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال فقط عن طريق تحليل التفكير في معنى المفهوم الجسيمي بالتفصيل.

لقد حدث التغير في المفهوم الجسيمي للجسيم فى جبهتين أحدثتا انتقالاً مختلف المعنى فى المفهوم الجسيمى: ١- في الفيزياء الذرية تتطلب نتائج تجارب رذرفورد للتشتت نموذجًا ذريًّا والذي لم يمكن التعبير عنه في الفيزياء الكلاسيكية. وهذا حدث بمجرد أن سببت أول مسارات جسيمية وقت

مكتبة الفكر الجديد

أن شوهدت أشعة ألفا (α) في الغرفة السحابية. قدم النموذج الذري الظاهراتي لبور القواعد الكمية للنموذج الكلاسيكي لنظام ربط الجسيمات المشحونة، وهذه القواعد تتضاد مع الديناميكا الكهربية الكلاسيكية، لقد أعادت ميكانيكا الكم لذرة الهيدروجين ترسيخ الاتساق. ٢- امتدت فروض الكم الضوئي لأينشتين فى مجال المفهوم الجسيمي إلى الإشعاع أي إلى مجال الديناميكا الكهربية وأمدت الحركة النسبوية هذا التطبيق بنظرية القياس، واصفة مسار الجسيم عديم الكتلة في المخروط الضوئي وطاقته المفقودة نتيجة التصادم بالجسيم الكتلي، ولقد أثبت تأثير كومبتون أن هذا التطبيق كاف تجريبيًّا.

٦-٢-١ الموجات المادية

في النموذج الذري لبور[1] كما في ميكانيكا الكم غير النسبوية ذهب المفهوم المنطقي المجرد للجسيم إلى التطبيق في مكونات المادة، وما زال نموذج بور الذري ينبني على المفهوم الكلاسيكي للجسيم، وأضيفت الشروط الكمية إليها بطريقة عشوائية ad hoc اعتباطية لكي توقف استنباط مدارات الإلكترون غير المستقرة عن طريق ميكانيكا الكم بدلاً من وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية، وقد حلت ميكانيكية كم ذرة الهيدروجين مدارات الجسيم الكلاسيكية بحلول معادلة شرودينجر المقيدة، ويوصف الآن الإلكترون المقيد بجهد كولوم بدلالة الموجة الموقوفة، وبهذا السبيل تم إحلال المسار

---

(1) Bohr 1913b

مكتبة الفكر الجديد

الكلاسيكي بدالة شرودنجر الموجية، وأصبحت الآن الخاصية الكلاسيكية الموضعية مضبوطة بمستويات موضعية للدالة الموجية أي بحزمة موجية.

لم ينجح شرودنجر في التفسير الواقعي المقابل للدالة الموجية وتطورت سريعًا الحزمة الموجية للجسيم الحر تجاه الموجه المستوية ومن ثم تحولت المستويات الموضعية لأن تكون غير مستقرة، وحتى تستنتج التفسيرات الخاصة بميكانيكا الكم للتشتت والتفسيرات الاحتمالية للدالة الموجية قام بورن بتطبيق الميكانيكا الموجية لشرودنجر على الموجات الموقوفة الحرة على أطرافها[1]، وطبقًا للتغير الاحتمالي للميكانيكا الموجية لشرودنجر فقد بدت جسيمات ميكانيكا الكم أشبه بالجسيمات المذكورة بالمعنى السابق (أي الكلاسيكية)، ما عدا المتصلة بالموضعية والتفريدية:

(QM) جسيمات ميكانيكا الكم؛ هي:

(MQS) تحمل الكتلة m، والشحنة الكهربية q، واللف s (مغزلية).

(INDEP) لا يعتمد على بعضهم البعض.

(POINT) شبه النقطية في التفاعلات.

(CONS) موضوع قوانين الحفظ.

(LOCPD) محصورة عن طريق عداد الجسيمات.

(PROB) تحديد احتمالي عن طريق معادلة شرودنجر.

(WAVE) في مستويات متراكبة ومتداخلة.

---

(1) Born 1926a,b.

مكتبة الفكر الجديد

(UNPQ) غير محدد بدقة في كمية الحركة والموضع طبقًا لمبدأ عدم التحديد $\Delta p\ \Delta q \leq h/2$.

(PAULI) ليس منفصلاً زمانيًا ومكانيًا ولكن يميز عن طريق مستوياتها الكمية طبقًا لمبدأ باولي للاستبعاد.

(BOUND) قابل لتكوين نظم مقيدة.

هذا التغير في المعني يكون شديدًا[١]، وإنه جاد: حيث إن الجسيمات لا تطول في محلها، وضعفت الموضعية الكلاسيكية (LOCAL) لمجرد احتمالية (LOCPD) أن أصبحت محصورة فقط خلال العداد الجسيمي لقياس الموضع، وهذا يرتبط بعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج (UNPQ) والتي تحدث خصائص غير محددة بدقة أي خصائص تعرف بالمستوى الاحتمالي بالمعني المتسع للتوزيع الإحصائي للقياسات الخاصة بنتائج متكررة للموضع وكمية الحركة[٢] وقد صنعت هذه المعملية للموضعية كلاسيكية المفهوم الجسيمي مستقلاً في السياق، وتعتمد خاصية أن تكون موضعية الآن على السياق التجريبي[٣]، لقد حلت الدالة الموجية لشرودينجر محل المسار الكلاسيكي

---

(١) طبقًا للمعاني الحديثة يكون مقصد المفهوم في المحتوى المفهومي (بمعناه لدى فريجه)، بينما يكون الامتداد هو مجاله؛ أي فئة الأشياء التي يُشير إليها (الإشارة لدى فريجه).

(٢) انظر .Busch et al.1995,3,59-60

(٣) لقد تجنبت الحديث عن التنسيق أو الاستعدادات حيث إنهم كانوا في العادة يلزمون أنفسهم بتجاهل تفسير نظرية الكم التي لم أستطع تعريفها. حاولت ميكانيكا الكم لدى بوهيم الاحتفاظ بالموضعية، ولكن كان الثمن إدخال مفهوم "الفعل عن بُعد" إلى=

مكتبة الفكر الجديد

موزعة مع الفردية الزمانية المكانية الكلاسيكية (INDIV) والمذهب التحديدي (DET) أي التعيين الكامل عن طريق قوانين الميكانيكا، وطبقًا لنظرية الكم فإن الجسيمات دون الذرية لا تأخذ المسار الذي يفردهم، ونتيجة علاقة عدم التحديد لهايزنبرج فإنه لا يستطيع وصفها بدلالة المحاور الزمانية المكانية وكمية الحركة – الطاقة في الوقت نفسه. (تم تأكيد هذه النقطة بواسطة بور التي أحدثت استكمالاً لرؤيته لفيزياء الكم)[1]. هذه أيضًا خاصية مؤثرة (INDEP) وهي الطريق التي بها قد تعتبر الجسيمات الكمية غير معتمدة بعضها على البعض الآخر، ومن أحد الجوانب وبسبب علاقة عدم التحديد لهايزنبرج فإن نتائج القياسات غير المترابطة إحصائيًا ظهرت لتلعب دورًا، وعلى الجانب الآخر فقد أثرت ميكانيكا الكم على السلوك الإحصائي للجسيمات، فالإلكترونات هي فيروميونات وتخضع لمبدأ الاستبعاد لباولي (PAULI) ولإحصائيات فيرمي، ووصف نظام الجسيمات المتعددة عن طريق الدالة الموجية غير المتماثلة، وهذا يتعلق بالإلكترونات ذات اللف (المغزلي) ٢/١ والذي يدخل في قائمة (MQS) للخصائص الديناميكية، ولكن الذي ما زال لم يتأثر فيأخذ خصائص المفهوم الكلاسيكي الجسيمي (POINT) و(CONS).

ومع هذا فما زال المفهوم الجسيمي (QM) يشارك امتداد الـ(CP) هذه في الخصائص الكلاسيكية التامة للجسيمات والتي تجعلها ممكنة القياس،

=النظرية؛ أي تخطت الخاصية (Point)، ..... وهو ما يتعارض مع مبادئ النسبية.

(١) بالنسبة إلى فلسفة بور التتامية انظر: **Meyer – Abich1965, Jammer1966**

مكتبة الفكر الجديد

والذي لم يلمس أيضًا هو المحتوى التأثيري أو الواقعي للمفهوم الجسيمي، والذي خرج عن نطاق التأثير حتى هذه اللحظة من قريب أو بعيد أيضًا فهو المفهوم السببي للجسيم[١]، ومن ثم كلما بعدنا عن الاعتبار غير النسبوي للجسيمات الكتلية الشحنية فلا يبدو إشكالية في اعتبارها (QM) كوريث شرعي لـ(CP) في جعل مفهوم المنطق المجرد والسببي دقيقًا.

٦-٢-٢- كمات الضوء

أحدثت فروض أينشتين للكم الضوئي معنى ممتدًا للتغيير، فقد تخطت السمة المميزة الكلاسيكية للمادة والإشعاع عن طريق المفهوم الجسيمي الممتد للظواهر الشعاعية، وكانت هذه خطوة تقريرية، نتجت من استعمال مدلول "جسيم" في جميع كمات المجال أيًا كانت في نظرية المجال الكمي. إن الصورة الجسيمية للضوء والمسمى "فوتون" للجسيمات الضوئية تم التوافق عليها بمجرد أن امتدت فروض الكم الضوئي إلى قواعد الحركة النسبوية وحفظ الطاقة في عمليت التشتت المفردة والتى طبقت في تأثير كومبتون[٢]، وقد جلبت قواعد الحركة النسبوية بعض الفروض في مفهوم الكتلة، فإنها تفرق كتلة السكون الثابتة m_0 وكتلة الجسم المتحرك $m(v)$ الذي يعتمد على السرعة، بالنسبة إلى الفوتون كتلة السكون هي صفر(0) وكتلتها الحركية

---

(١) على الأقل فى مجال ميكانيكا الكم غير النسبوى. انظر مناقشات بند Mott1929 and 5.3.1.

(٢) انظر الفقرة (٣-٢-٢).

مكتبة الفكر الجديد

هي $h\nu/c^2$ وبتطبيق قواعد الحركة النسبوية لفروض الكم الضوئي والناتج في ازدواجية المعنى الممتد في تغيير المفهوم الجسيمي:

(أ) قد توصف كتلة السكون؛ الآن للجسيم غير المشحون المبين عن طريق طاقة وكمية الحركة رباعية المتجة لقواعد الحركة النسبوية، وهنا يمتد المفهوم الجسيمي إلى الجسيمات عديمة الكتلة والتي تتقدم فقط في مسارات الحركة في مخروط الضوء.

(ب) تعتبر الجسيمات مكونات الضوء، في حال أفكار نيوتن التي ظهرت في صورة تساؤلات وشك حول الطبيعة الذرية للضوء[١]. فطبقًا للتكافؤ النسبوي للكتلة والطاقة فإن هذا الجسيم يكون مصحوبًا بكتلة قصور، وبهذا السبيل نصل إلى المفهوم غير الرسمي للجسيمات في إطار فهم كمات الضوء أو الفوتونات والتي طرحت كالتالي حول عام ١٩٢٣:

(LQ) كمات الضوء (فوتونات)؛ هي:

(E) كمات عديمة الشحنة ذات طاقة $E=h\nu$.

(DISC) غير مستمرة، أي تأتي على هيئة كمات.

(INDEP) لا يعتمد بعضها على بعض.

(POINT) شبه النقطية في التفاعلات.

(CONS) موضوع قوانين الحفظ.

---

(١) انظر: Newton 1730 vs. Einstein 1905.

مكتبة الفكر الجديد

(BOSE) غير مميزة، تتبع إحصائيات بوز – إينشتين.

(PROB) تحرير احتمال عن طريق نظرية الإشعاع الكلاسيكيز

(WAVE) في مستويات متراكبة ومتداخلة.

(NLOC) غير موضعية.

(LOCPD) محصورة أو مرصودة عن طريق العداد الجسيمي.

تتطلب العلاقة بين (NLOC) و(LOCPD) ملاحظة، فطبقًا لوصفها النظري تكون الفوتونات غير– موضعية (غير محصورة)؛ حيث إنها توصف عن طريق متجه موجي معين K أو تردد ν ويعتبران غير موجودين في مستويات محصورة[1]، حتى لو تم قياسهما بواسطة عداد جسيمي وبالتالي يعتبران محصورين لجميع الأغراض العملية في تطابق مع (LOCPD). ومع هذا، فيجب ملاحظة أن (LOCPD) خاصية تأثيرية ليس لها نظير في الوصف النظري لفوتون ما حول عام ١٩٢٣ ولا في نظرية المجال الكمي الحديثة.

بالتالي، دار مفهوم الفوتون فقط في الخصائص الكلاسيكية للجسيم حول (INDEP) و(POINT) و(CONS)، ومع هذا فقد تغير معناه، وأصبح لـ(POINT) خاصية مجالية يكون لها معنى فقط حينما لا يوجد فعلاً عند

---

(١) فى الواقع هذه حقيقة لأى جسيم نسبوى أو حالة مجال، انظر **Halvorson2002 Clifton and**. وقد نص على ذلك عن طريق النظرية المستنتجة من الافتراضات العامة جدًا لمجالات الكم النسبوية غير معتمدة على جميع الاعتبارات العلمية لا مكانية موضعية الجسيمات بدوران منخفضة عن أطوال كومبتون لها الموجية دون تأثيرها مثلما فى الإنتاج الزوجى.

مكتبة الفكر الجديد

مسافة معينة أو يتزاوج الفوتون موضعيًّا مع جسيمات أو مجالات أخرى، وقد تصاحبت (CONS) مع مجموعة بوانكاريه للحركة النسبوية، وازدادت خاصية عدم الاعتماد تغيرًا (INDEP)، ومرة أخرى عادت نتائج القياس غير المرتبطة إحصائيًّا لتلعب دورًا ولكن في إضافة غير تميزية وأخذت في الحسبان إحصاء بوز أينشتين المصاحب (BOSE).

الآن، أصبحت جميع الجسيمات دون الذرية هي موضوع نظرية الكم بينما يكون بعضهم عديم الكتلة ولم يكن نظامًا مقيدًا، وقد أخذت الخصائص الكلاسيكية للضوء أطوالاً موجية أو ترددًا على كاهل نظرية الكم للضوء محدثة الخاصية المزدوجة الموجية – الجسيمية[1]، وفي الحقيقة أنتج ذلك المزيد في المعنى الانتقالي الممتد، فصممت الموضعية الكلاسيكية إلى عدم الاستمرارية (DISK). فكانت الفوتونات أفضل ما يميزها هو طبيعتها غير المستمرة (المتقطعة) وتكون على هيئة كمات طاقة متقطعة، وقد تأكدت هذه النقطة عن طريق بور في بداية مجموعة محاضراته الشهيرة بما ينص على:

الفرض الكمي الذي يصف أي عملية ذرية يكون أساسًا في عدم استمراريته (عدم تواصله) أو حالة انفرادية وهو يتجنب تمامًا النظريات الكلاسيكية ويرمز بالفعل الكمي لبلانك[2].

وطبقًا لهذا فإن أي خاصية كمية تأتي مضروبة في $\hbar$ قد تحصر كجسيم وقد تكون محصورة موضعيًّا أو غير ذلك؛ (ويجب ملاحظة أن بور لم يفرق بين مضاعفات أو نصف المضاعفات للمقدار $\hbar$ في حالة كمية

---

(١) انظر الفصل التالى.

(2) Bohr 1928,580.

مكتبة الفكر الجديد

الحركة الزاوية واللف (المغزلي) المعبر عنها في ميكانيكا الكم وكمات تكميم الطاقة بدلالة المقدار hν . ومع هذا، فهي تطبق حتى على نغمات الأوتار في الميكانيكا الكلاسيكية.

في يومنا هذا، وافق الفيزيائيون كثروا أم قلوا على افتراضين حقيقيين: أولهما؛ يرجع مفهوم الجسيم إلى الظواهر غير المتصلة (متقطعة)، وثانيهما؛ هذه الظواهر التي وضعت خطوطًا لقوانين نظرية الكم، إضافة إلى أنهم توافقوا على أنه عند مستوى التأثير هذا يكون الاحتياج لقوانين القياس شبه الكلاسيكي ضروريًا لرصد هذه الظواهر كميًّا، آخذين في الحسبان تأثير كومبتون، فقد أدخل جميع الجسيمات دون الذرية لتكون موضوع نظرية القياس والتي تصف الجسيمات الكلاسيكية غير النسبوية والنسبوية التي لها كتلة سكون $m \geq 0$.

وما وراء هذا التوافق هو استعمال مفهوم الجسيم بحرية في يومنا هذا وما يترتب عليه من الوصول للمزيد بتعميم التوصيات التي جاءت في محاضرات بور والتى أخذت في الحسبان عدم الاتصال لظواهر الكم؛ حيث تقاس كمات الطاقة لمجال الإشعاع عن طريق جهاز موضعي وقد حصروا أيضًا كجسيمات بالمعنى الإجرائي.

٦-٣ المفهوم الإجرائي للجُسيم

من هنا يكون للمفهوم الجسيمي الحالي أساسان: أولهما؛ يوجد في تجارب الفيزياء الذرية والنووية والجسيمية وفي نظرية القياس التي تتبنى على المفهوم الجسيمي الكلاسيكي، ومن أول قياس e/m للإلكترون وحتى

مكتبة الفكر الجديد

يومنا هذا، وقد بررت عن طريق الظواهر التجريبية وعن طريق الافتراضات النظرية الموجودة في تحليل نتائجها، وأنها مبدئيًا تنبني على خصائص شبه كلاسيكية للمسارات الجسيمية المُلاحظة في قياسات زمن – الطيران التي أجريت في تجارب تشتت الطاقة العالية في المعجلات الجسيمية، وهلم جرًا. والأساس الثاني هو فرض الكم الضوئي لأينشتين والذي ينبني أيضًا على الظواهر التجريبية مثلما ظهر في الظاهرة الكهروضوئية كتأثير كومبتون. وبالتالي فإن التعريفات الإجرائية التالية للجسيم عامة جدًّا:

من الناحية الإجرائية (OP) تكون الجُسيمات:

(MESQ) تجميعات من الكتلة m والطاقة E واللف مغزلي s والشحنة q.

(LOCPD) موضعية بواسطة عداد جسيمي.

(INDEP) مستقلة عن بعضها البعض.

انساقت هذه الخصائص من المفاهيم الكمية (QM) و(LQ) المشروحة سابقًا، وفي (MESQ) تعمم الخاصية الكلاسيكية للكتلة والشحنة بطريقة الجسيمات الكتلية نفسها والكمات الضوئية لتكون على النمط الموجود نفسه، فأمكن قياس اللف المغزلي للجسيمات ذات الكتلة والشحنة، على سبيل المثال، في تجربة ستيرن – جيرلاخ، وفي (MESQ) حل المفهوم الإجرائي لتجميعة الخصائص محل التعبير الميتافيزيقي من الواضح عدم إمكانية قياسه، وفي (LOCPD) عممت الخاصية الكلاسيكية لكونها موضعيًّا أو حصريًّا في الحس أو المعنى الاحتمالي الإجرائي لموضعية جسيمات وفوتونات ميكانيكا الكم،

مكتبة الفكر الجديد

وما زال هذا التعميم ينبني على الاعتقاد الراسخ بأنه يوجد أشياء دقيقة قد يتم حصرها بوسائل العداد الجسيمي، وترتبط الآن خاصية عدم الاعتماد (INDEP) بحدوث العد الجسيمي غير المرتبط، المقرة لعدم الاعتماد الإحصائي للأحداث المفردة التي تكون مجموعة أو فرقة.

قد يسأل سائل عما إذا كانت الجسيمات بالمعنى الإجرائي لا تُرد إلى مثل هذه الأحداث، مجرد طقطقات في عداد جيجر أو أي عداد آخر. لا لن يُمكن ردها. فالمفهوم مُحمل بالنظرية. وهو يتضمن الاعتقاد الواقعي المذكور عاليه. ومن الناحية الإجرائية، يتم إدراك الجُسيمات كتجمعات لخصائص ديناميكية معينة والتي تخضع لشروط تجريبية معرفة دائمًا ما تكون متجمعة. ما عدا ذلك لم يكن هناك أي معنى لإجراء تجارب للجسيمات دون الذرية. فلا بد من قابلية النتائج التجريبية للتكرار. واستقرت تجميعات الخصائص الديناميكية فقط حينما تم التمكن من تكرار إنتاج التجارب، ومن ثم اهتم المفهوم الإجرائي للجُسيم بمواد تجريب لوكين أي بتجميع الخصائص التجريبية والتي اتسقت معًا[1]، أو حزمت الخصائص التي تظهر متكررة مع بعضها. وفي عالم الفوضى حيث لا يوجد مثل هذه الحزم من الخصائص الظاهرة وأنه يستحيل ممارسة الطرق التجريبية بنجاح، في الميتافيزيقا تكون مثل مواد تجريب لوكين أكثر من مجرد أحداث معزولة ليست معاد إنتاجها ولكن أقل من حاملة للخصائص. (علاوة على ذلك، فإنها قد تفسر من خلال المُخطط الكانطي للجوهر، وطبقًا لما في النهاية فإن مفهومنا الخاص للجوهر أن يجعلها ممكنة التصور كمثل هذه الحزم أو تجميعات الخصائص).

---

(1) Locke 1689, Book II, beginning chap. XXXIII.

مكتبة الفكر الجديد

تستخدم أيضًا مفاهيم الجُسيم في الفقرة التالية هذه الطريق الميتافيزيقية التي لا يُمكن تجنبها وإن كانت مُعتدلة لتحديد خصائص ديناميكية مُستقرة لنوع من الجُسيمات.

لسوء الحظ، لا يوجد نظير بديهي غير غامض لهذا المفهوم الجسيمي المعتدل الميتافزيقي، وأحدثت نظرية الكم الخاصية المزدوجة الموجية الجسيمية. وفي المستويات الكمية فقط توحد الجسيمات ذات التعريفات (QM)، و (LQ) (على وجه التقريب) لتكون حصريًا موضعية، ولكن المستويات الموضعية لا تكون مفضلة؛ حيث إنه في أي ديناميكا كمية يتم تفضيل المستويات غير الموضعية، ودون القياسات الموضعية المكررة نجد أن المستوى الميكانيكي الكمي يتطور في اتجاه الموجة المستوية، ودون جهاز القياس الماكروسكوبي والذي هو نفسه موضعي؛ حيث لا يوجد شيء موضعي ويوجد إمكانية لعدم إعادة تعريف نوع الجسيم نفسه في القياسات المتتابعة[1]، والأشياء التي على نحو أسوأ ككمات الضوء تكون نسبوية ولكن طبقًا لنظرية الكم النسبوية فإن الموضعية تكون مستحيلة في الفهم الدقيق[2]، إن أي نظرية كمية نسبوية تكون على نشاذ مع إمكانية وجود للمستويات الموضعية، ومن ثم فعند الحديث الدقيق في المجال النسبوي فإنه لا يوجد نظير بديهي أو أساسي للمفهوم الإجرائي للجسيم، وإن هذا ليس فقط نتيجة الوجود الكلي لمشكلة القياس الكمي ولكن يكون نتيجة لعدم التلاقي الكبير بين نظرية الكم النسبوية ومفهوم المستوى الموضعي، وقد أعطت هذه المشكلة تركيزًا في أن المفهوم الجسيمي للفيزياء دون الذرية يكون إجرائيًّا من حيث المبدأ.

---

(١) انظر الفقرة (٦-٦).

(٢) انظر: Clifton and Halvorson 2002، وانظر أيضًا الفقرة (٦-٦).

مكتبة الفكر الجديد

إن أي محاولة لفهم المفهوم الجسيمي على وجه الحصر بشكل أساسي يحدث تشويشًا مفهوميًا، وحينما واجه الفلاسفة الاستخدام الكثير لتوجهات الفيزيائيين في تعبير "جسيم" فيظهر بشكل تلقائي في الغالب مثل هذا التشويش. عديمو الخبرة في نظرية الكم هم فقط الذين يعرفون ما حول الجسيمات الكلاسيكية وإنهم يعرفون الجسيمات بمفرداتها الدقيقة الموضعية عن طريق مساراتها، وإن فلاسفة نظرية الكم في معظم الغالب ليس لديهم معرفة تفصيلية عن الاكتشافات التجريبية والمحتوى الإجرائي للمفهوم الجسيمي، وقد ركزوا بوضوح على الموضعية كخاصية جسيمية سائدة[1]، ومع هذا فقد احتفظ معظم الفزيائيين بالحديث الجسيمي الكروي دون الالتزام برؤية عالم الميكانيكي الخفي أو علم الوجود الجسيمي الكلاسيكي، وفي الحقيقة فإن المسارات الجسيمية وأحداث التشتت المسجلة بواسطة العدادات الجسيمية قد أمدتهم على الأصح بأسباب جيدة للاحتفاظ بالتعبير "جسيم"، وحتى يومنا الحاضر فإنهم يتحدثون عن فيزياء الجسيمات. إلا أن المفهوم الجُسيمي المناظر إجرائي بشكل جزئي، وذلك تأسيسًا على بعض بديهيات النظرية الكمية.

---

(١) انظر خصائص نظرية الجسيم والذى أرسل ريدهير مقدمة لمناقشة المسائل الفلسفية لنظرية المجال الكمى "اختصت نظرية الجسيم بمفردات معينة (الجسيمات) لتحديد من الخصائص. ستحتوى هذه الخصائص بمركزية (موضعية) الزمان- المكان" Redhead1988,10. وطبقًا لهذا فإن النظريات الحالية فى الجسيمات الأولية لم تكن نظريات جسيمية.

مكتبة الفكر الجديد

وعلى النحو الموضح في الفصل السابق، فإن صلب مشكلة اللا مقياسية في الانتقال من الفيزياء الكلاسيكية إلى فيزياء الكم يكمن في عدم التلاقي بين الجوانب الإجرائية والبديهية والمرجعية للمفاهيم الكمية. وظهر عدم التلاقي كالتالي: لقد دفع تحليل مُعطيات أي تجربة لفيزياء الطاقة العالية الفيزيائيين لتحليل مسارات الجسيمات المتفردة وأحداث التشتت في الجانب شبه الكلاسيكي، ولكن من وجهة النظر البديهية فإن الأساس الإجرائي لميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي يكون محتملاً، واعتنت الوجهة الكلاسيكية للميكانيكا بالجسيمات المنفردة وأعطت مسألة القياس الكمية غير المعاد حلها عند مستوى الحصر الجسيمي المنفرد وكان عدم الاتفاق في عدم التجنب، وقد بنى المفهوم الإجرائي للجسيم (CP) بعض الجسور؛ حيث فشلت فيها المفاهيم النظرية (CP) و (QM) و (LQ) لكي تتفق بعضها مع بعض، وإذا أهمل ذلك فسنبقى في الظلام كما في كيفية ارتباط علاقة المفهوم الجسيمي الكلاسيكي وإرثها الكمي المتنوع.

٦-٤ مزيد من الجسيمات الكمية

يتم التداول اليوم حول كلمة "جسيم" بعدد من المعاني غير الصورية فعلا، دون نظرية موحدة للجسيمات الأولية وتفاعلاتها؛ حيث لا يوجد اتفاق عام حول كيفية استعمال مقطع "جسيم"، ووراء المفهوم الإجرائي للجسيم (OP) الوارد سالفًا في هذا فقط يتضح سياق نظرية نوعية، فأساسًا الجسيمات هي أشياء دقيقة ترجع إلى نظرية أساسية التي تبين مدلولات معينة، ويحدد نوع الشيء الدقيق هذا عن طريق الوصف النظري المرتب، بهذا المعنى

مكتبة الفكر الجديد

نستطيع القول: إن المفهوم الجسيمي يعرف ضمنيًّا في حس طريقة هيبرت الأساسية وهي تعرف ضمنيًّا عن طريق بديهيات الوجهة الكلاسيكية للميكانيكا بواسطة نظرية الكم أو عن طريق النموذج النظري المتعلق بذلك أو البنائى.

علاوة على ذلك عادة ما تكون ثمة حاجة لوجود بعض التناظر التجريبي بين المفهوم البديهي للجُسيم والمفهوم الإجرائي للجسيم (OP). إن الاعتقاد في وجود نوع معين من الجسيمات يعتمد على التدعيم التجريبي للوصف النظري؛ أي يعتمد تقريبًا على النموذج التجريبي؛ أي يجب على الوصف النظري أن يتفق مع تجميعة الخصائص الديناميكية التي وجهت للأنواع المعاد إنتاجها للمسارات الجسيمية ولأحداث التشتت، وهذا هو الذي صنع الفرق بين الجسيمات الفيزيائية والوسائل الرياضية المجردة للحسابات.

ومن ثم فإن طبيعة الجسيم تتحدد بدلالة البديهيات لبعض الديناميكا، وهذا مطابق لما تقبله حالة الفراغ ومجموعة دوال الحالة ومعادلة الحركة.

وقد ذكر بالفعل ثلاثة أمثلة لمثل هذه التعريفات الضمنية للمفهوم الجسيمي بدلالة البنائيات النظرية، وأحدثت التعريفات غير الصورية (OP) و(QM) و(LQ). إن الجسيم الكلاسيكي هو موضوع لأساسيات الوجهة الكلاسيكية الميكانيكية، وجسيم ميكانيكا الكم هو موضوع لأساسيات فراغ هيلبرت ومعادلة شرودنجر والفرض المخطط للحالات (المستويات) في فراغ هيلبرت وهذه التعريفات معروفة جيدًا، وقد أدلت أمهات الكتب في الفيزياء النظرية بدلوها في ذلك الشأن بتأكيد أن الأشياء الدقيقة الديناميكية تحت الفحص هي جسيمات (إذا وجد أي إعلان بهذا الشأن)، على سبيل المثال، قدم

مكتبة الفكر الجديد

كتاب لانداو ليفشيتز الشهير المفاهيم الجسيمية بالنسبة إلى الميكانيكا الكلاسيكية والكمية في هوامش الكتاب[1]، واعتماد المثال الثالث على نظرية الكم البدائية للإشعاع المسماة فروض الكم الضوئية لأينشتين في عام ١٩٠٥ وما تلاها في عام ١٩٠٦ المبنية على علاقة بلانك – أينشتين E=hv وقوانين الحركة النسبوية (خاصة حفظ كمية الحركة – والطاقة) وقوانين الانتقالات الإشعاعية في نموذج بور الذري، ويمكن إعطاء تعريفات كاملة لأساسيات الكم الضوئي فقط في إطار نظرية المجال الكمي.

لكن هنا بدأت التعبيرات الملتبسة للمصطلحات الفنية في التواجد، وقد استعملت في سياق نظرية المجال عدة مفاهيم غير صورية للجسيم، وبالمباشرة نفسها فقد يعتبر مرجعية المجال الكمي أو كماتها المجالية إلى الجسيمات، وتعتني نظرية المجال الكمي بتخليق أو إفناء كمات المجال، وكمات المجال الحقيقية هي جسيمات فيزيائية بالحس المقابل للمفهوم الإجرائي للجسيم (OP)، إضافة إلى أنه يوجد ما يسمى الجسيمات الافتراضية؛ حيث تكون حالاتها الوجودية غير واضحة، وتكون مغمورة في التمدد الاضطرابي لتفاعلات المجالات الكمية؛ أي نقول: إنها وسائل حسابية شكلية ولا يمكن قياسها طبقًا للمفهوم الإجرائي للجسيم (OP). ومع هذا فهي تحدث تأثيرات تجميعية يمكن قياسها حقيقة، وترجع شبيهة الجسيمات في فيزياء المادة المكثفة إلى النتائج المأخوذة من الظواهر التجمعية في الجوامد، وهي وسائل شكلية أيضًا ولكنها النظير الصوري لكمات الكم الحقيق وأنها حقيقة تحمل المعنى الإجرائي كما سنرى بعد ذلك.

---

(1) Landu and Lifschitz 1987,1note1 and Landu 1988,2,note2: انظر

مكتبة الفكر الجديد

لكي نجعل هذا المدى في استعمال أوضح للتعبير "جسيم"، سأناقش الآن المفاهيم التالية:

(١) كمات مجال نظرية المجال الكمي النسبوي (FQ).

(٢) تعريف جسيم فيجنز بدلالة نظرية المجموعة (GT).

(٣) الجسيمات الافتراضية (VP)،

(٤) الجسيمات الشبيهة في فيزياء المادة المكثفة (QP) والتي ليست نظيرًا نسبويًا لكمات المجال النسبوي.

لا يوجد ما يقابل مفاهيم مبدأ بور وهايزنبرج للجسيمات الكلاسيكية، وكلما بعد عن كل ما يقابل النماذج الكلاسيكية للأشياء الميكروسكوبية الدقيقة فإنها ترجع للمجالات الكلاسيكية.

ومع هذا، ففي ميدان المجالات الكمية النسبوية وكمات مجالها، فإن انهيار ما يقابلها يشكل مشكلة لكل ما يتعلق بالحقيقة الكلاسيكية على الرغم من كل هذه المفاهيم عدا ما يختص بالجسيمات الافتراضية التى قد تُناظر (تقريبيًا) الجسيمات بالمعنى الإجرائي.

٦-٤-١ كمات المجال

يتم تحديد الجسيمات الناتجة من كمات المجال وذلك بتعميم فروض الكم الضوئي لأينشتين التى تتعامل مع الكمات المفترضة بأي نظرية فى مجال الكم. وكان أول نضج لنظرية مجال كمي هي الديناميكا الكهربية الكمية

مكتبة الفكر الجديد

وطرحت أساسياتها فى ورقة ديراك عام ١٩٢٧ بعنوان: نظرية الكم لانبعاث الإشعاع وامتصاصه[1]، وكانت الخطوة الثانية هي نظرية ديراك للإلكترون والتي طورت أصلاً في إطار عمل ميكانيكا الكم النسبوية، إضافة إلى حلول الطاقة الموجبة المعتادة للإلكترون، وقد تنبأت معادلة ديراك بالدوال الموجية المقابلة لحلول الطاقة السالبة، والتي صاحبت البوزيترون بعد ذلك وهو الجسيم الضد للإلكترون ويحمل كتلة الإلكترون نفسها ولفه ولكن بشحنة عكسية (موجبة). وتتلاشى الجسيمات وأضدادها، وحثت عدم الحفظ المقابلة للعدد الجسيمي للانتقال خطوة من ميكانيكا الكم النسبوي إلى نظرية المجال الكمي.

لقد طبقت نظرية المجال الكمي على المادة بمثل ما طبقت طريقتها على الإشعاع، وميزت المادة المكممة والمجالات الإشعاعية فقط بقيم لفها المغزلي ومعادلات المجال المقابلة وإحصائيات فيرمي أو بوز المصاحبة لكمات المجال وتتبع كمات المجال ذات اللف المساوى أنصاف القيم الصحيحة (فيرميونات) قاعدة باولي للاستبعاد وإحصائيات فيرمي. أما كمات المجال ذات اللف المغزلي ذي الأعداد الصحيحة (بوزونات) فتتبع إحصائيات بوز – أينشتين ووصفت المجالات الخاصة بكل عن طريق معادلة كلين – جوردن (اللف صفر)، ومعادلة ديراك (اللف ١/٢) ومعادلات ماكسويل (اللف ١)، وعرف فى عديد من كتب نظرية المجال الكمي أن الكمات الموجودة فى هذه المجالات بالجسيمات، وقد عمم بجوركن ودريل في كتابهما الشهير مفاهيم الإلكترون والبوزترون في هذا الطريق، وطبقًا لهذا فإن كمات

---

(1) Dirac 1727.

مكتبة الفكر الجديد

المجال التي تخص القيم المميزة الموجبة أو السالبة الناتجة من مؤثر الشحنة تسمى الجسيمات أو الجسيمات الصغيرة على التوالي[1].

لقد اتبع الكتاب المعتاد والذي يقرب طريقة كشف لنظرية مجال الكم أوصت بمبدأ التعميم المقابل لهايزنبرج[2]، وقد قدمت نظرية مجال الكم عن طريق تكميم نظرية المجال الكلاسيكية وحلت محل مشاهدات المجال الكلاسيكي المؤثرات وقواعد تبادلية معينة تم تعريفها أو أوجدت علاقات غير محددة النوع لهايزنبرج والتي عبرت عن الملامح غير الكلاسيكية لمشاهدات المجال.

فبالنسبة إلى المجال أو لجسيم اللف صفر تبدأ خطوة التكميم من أي مجال قياس كلاسيكي أو هاميلتوني للذبذبة التوافقية الميكانيكية الكمية. وتسمى الخطوة المكممة الأخيرة بالتكميم الثاني للسبب الشكلي التالي- تكميم الدالة الموجية للذبذبة التوافقية الميكانيكية الكمية أو تكميم ذبذبات المجال القياسي الكلاسيكي منتجًا النتائج الصورية نفسها بدقة والمسماة حلولْ معادلة كلين – جوردن المكممة، ويعمل التكميم الثاني كالتالي. أولاً: تكون الذبذبة التوافقية الكلاسيكية مكممة وفي الخطوة الثانية تتحول معادلة شرودنجر للذبذبة التوافقية إلى صورة هايزنبرج وتكمم مرة أخرى، وحيث تكون شكل النتائج هى نفسها في كلتا الحالتين فيتكافأ صوريًّا المجال الكلاسيكي المكمم لنظام عديد الجسيمات الميكانيكي الكمي مع عديد الجسيمات اللا نهائي الخاص بكل من المذبذبات أو درجات الحرية. ومجال ماكسويل يكون مكممًا

---

(1) Bjorken and Dreel, and of chap.12.5.

(2) Heisenberg 1930a,78 and 1930b, 105; وانظر المناقشة الواردة بالفقرة ٤-٥-٢

مكتبة الفكر الجديد

كالتالي. يتطور المجال الإشعاعي الكلاسيكي إلى أساليب مجالية لكمية حركة معينة P أو تردد زاوى $\omega=2\pi\nu$ والذي يعبر عنه بدلالة متجه الموجة $\hbar$ K = P \ وحينئذ تصبح كمية (مكممة) بدلالة مؤشرات التخليق أو الإفناء a_k , a_k^+ لكمات المجال ذات الطاقة $E=h\nu_K$ والتي تخص أسلوب المجال ذات العدد الموجي K.

بصفة عامة فإن كمات المجال للمجال المكمم تتميز بدلالة العدد الموجي.

$P=h/\lambda=\hbar K$ ومجموعة القيم للخصائص الديناميكية الكمية (المكممة) مثل الكتلة واللف وأخيرًا الشحنة، وتعتبر كمات المجال أصغر وحدات هذه الخواص؛ مثل تجميعة الخصائص الديناميكية وأنها بوضوح تقابل مفهوم الجسيم العامل (OP) [1]، وتخضع مؤثرات التخليق والإفناء a_k , a_k^+ للعلاقات التبادلية التالية:[2]

$$[ak\ ,a_k^+]=1, \qquad (6.1)$$

$$[ak\ ,ak\ ]=0, \qquad (6.2)$$

$$[a_k^+,a_k^+]=0. \qquad (6.3)$$

بالنسبة إلى الفيرميونات أو البوزونات فإن $[a_k\ ,\ a_k^+]$, تعني الضد التبادلي

---

(١) تركت جانبًا مسألة الموضعية المذكورة بعاليه.

(٢) أى اعتمادية على المحاور الزمانية المكانية (والتى يعبر عنها بدلالة الدوال S) موجودة هنا، بالنسبة إلى العددين الموجيين المختلفين k,k فإن العلاقة التبادلية المتلاشية هى (6.1) والتى حينئذ تصبح S(k,k1) = ($a_{k1}\ a_k$).

مكتبة الفكر الجديد

$[a_k a_{k'} + a_k a_k^+]$ أو المستبدل $[a_k a_{k'} - a_k a_k^+]$، على التوالي، وتـؤثر هذه المؤثرات على أشكال المجال، يولد المؤثر التخليقي a_k^+ مجالاً كميًّا للعدد الموجي k ، ويصنع المؤثر الإفنائي a_k مجالاً كميًّا لصيغة خاصة بالمجـال المختفى:

$$a_k^+ \Psi_{k,n} = \sqrt{n+1}\,\Psi_{k,n+1}, \qquad (6.4)$$

$$a_k \Psi_{k,n} = \sqrt{n}\,\Psi_{k,n-1}. \qquad (6.5)$$

قد تتطور الآن، حالة المجال Ψ إلى مجموع حالات لأشكال المجـال $\Psi_{k,n}$ للعدد الموجي k وأعداد الإشغال المعرفة جيدًا n (هذه المستويات تكون فراغ فوك).

$$\Psi = \sum_{k,n;k,n} \Psi_{k,n}. \qquad (6.6)$$

والمستويات في هذا التجميع هي مستويات معينة لمؤثر عدد الإشغال $N=a_k^+ a_k$:

$$N\,\Psi_{k,n} = n\,\Psi_{k,n}. \qquad (6.7)$$

ومن ثم إذا أثر المؤثر التخليقي a_k^+ على المستوى المفرغ Ψ_0 فيتولـد الشكل المجالي $\Psi_{k,1k}$ بمجال كمي واحد للعـدد المـوجي k ويكـون قيمـة المستوى المقابل للمؤثر العددي الإشغالى هو:

$$N\,\Psi_{k,1} = 1\Psi_{k,1}. \qquad (6.8)$$

إنه من المغري أن نحدد مستوى معيناً لمؤثر عدد الإشغال مع تجميع كمات المجال أو الجسيمات، ولكن هذا لم يعمل، على الأقل إذا كانت صورة الجسيم الكلاسيكي تفترض مقدمًا بشكل ضمني، ولم ينته المجال الكمي إلـى

مكتبة الفكر الجديد

سرب من الجسيمات في الفهم الكلاسيكي، ولنظرية المجال الكمي عدة ملامح تحطم أي مقابلة واضحة مع المفهوم الجسيمي الكلاسيكي على وجه الخصوص، فالمجالات الكمية ذات الكثافة المنخفضة لها خصائص غير موضعية وغير كلاسيكية مدهشة، وعلى المستوى العملي فإن هذه الخصائص تظهر في تجارب الأشعة الساقطة ذات الكثافة المنخفضة[١]، ويعبر عنهم عند المستوى الأساسي بدلالة العلاقات التبادلية لمؤثرات المجال، إن مؤثرات قوى المجال الكهربي والمغناطيسي لمجال الإشعاع الكمي لا يكون متبادلاً وأن طور أشكال المجال بمستوى العدد الإشغالي لا يكون جيد التعريف وبالتالي فيستحيل إعزاء قوى المجال المعرَفة جيدًا إلى وجهة النظر الزمانية المكانية أو لشدة المجال القاطع للمناطق الزمانية المكانية المحددة.

وتعطي شدة المجال بدلالة القيمة المتوقعة للمؤثر العددي الإشغالي N وأساس حالة المجال الكمي هو الفراغ المتعلق بأداة الفراغ وأنها تتعلق بالقيمة المتوقعة $\langle \Psi_{k,0} | a_k^+ a_k | \Psi_{k,0} \rangle$ $a_k^+ a_k$، أي المتوقعة للعدد صفر (أو القيمة المتوسطة) لكمات المجال، ولكن طبقًا لقوانين نظرية المجال الكمي تتراوح الحالة الفراغية حول عدد الإشغال، حتى إن المتوسط العددي لكمات المجال قد يكون صفرًا، ويبدو الإنتاج التلقائي والإفنائي لكمات المجال موجود كليًا كما هو موضح في مثال ظاهرة كازيمر وتجارب الاستقطاب بالشعاع الفوتوني منخفض الكثافة[٢].

---

(١) انظر مناقشة مثل تلك التجارب فى الفصل السابع الفقرات (٧-٣) إلى (٧-٥).

(٢) تأثير كازيمير(Casimir) هو تجاذب لوحى المعدن فى الفراغ والذى ينتج عن تعديل حالة الفراغ بينهما، انظر: Itykson and zuber 1985,138-141.=

مكتبة الفكر الجديد

ومن ثم لا تصنع كمات المجال مجالاً كميًا كمكون في أي اتجاه مستخدم وقد أشركوا شدة المجال بطريقة مختلفة وأقل وضوحًا، فتحل مجموع صيغ مجال الكم الكمومى في (٦,٦) محل الحالات الفيزيائية الكلاسيكية والميكانيكا الكمية، وتسمى المسارات في الأطوار الفضائية والموجات الكهرومغناطيسية والدوال الموجية لشرودنجر وتصف حلول معادلات المجال النسبوية المجالات الحكومية بدلالة تأثيرات المؤثرات الخاصة بالتخليق والإفناء وبالأحرى بدلالة تحول الدوال الموجية المهمة، فهي تتنبأ بانبعاث كمات المجال وامتصاصها، وهي تبعث لمعادلات ماكسويل الكمومية (الجسيمات ذات اللف ١)، وأمثلة أخرى هي إلكترونات وبوزيترونات معادلة ديراك (لفها ١/٢) أو بيونات معادلة كلين- جوردن (ذات اللف صفر)، وبصفة عامة قد تتأهل كمات المجال كما يلي[١]:

كمات المجال (FQ) هي:

(MESQ) تجميعة الكتل m والطاقة E واللف s والشحنة q_i ٠

=وفى تجارب الاستقطاب ذات الفوتونات الفردية لا يسمح المستقطبان المتقاطعان العموديان بمرور الإشارة خلالها، بينما يتقاطع المستقطب الثالث القطرى بإعادة ظهور الإشارة؛ انظر المناقشة فى الفقرة (٧-٣-٣).

(١) بالنسبة إلى كمات المجال النسبوى فى (ME,SQ) فإن المعنى هو كتلة السكون للجسيمات النسبوية، وبالنسبة إلى الشحنة الكهربية q أضف الشحنات العامة للتفاعلات الكهروضعيفة والقوية أى النكهة q_f واللون q_j انظر (الفقرات ٦-٤، ٦-٥) الجسيمية النظرية والكواركات.

مكتبة الفكر الجديد

(DISC) عدم الاستمرارية؛ أي أنها تأتي على هيئة كمات (غير متصلة).

(INDEP) غير معتمدة على بعضها البعض.

(POINT) شبه النقطية في التفاعلات.

(PROB) تحدد بالاحتمالات عن طريق معادلة المجال الكمومي.

(WAVE) في مستويات تراكبية أو تداخلية.

(NLOC) غير موضعية.

(LOCPD) موضعية عن طريق العداد الجسيمي.

(COMM) موضوع قواعد تحويل معينة لأضداد المحولات (فيرميونات) أو محولات (البوزونات).

(NDIST) المميزة عدديًا وتتبع إحصائيات فيرمي أو بوز (معتمدة على اللف).

(CONS) الأشياء المرتبطة بقوانين الحفظ (البقاء).

(BOUND) قابل لتكوين أنظمة مربوطة.

ليست فقط الفيرميونات ولكن أيضًا العديد من البوزونات التي لها خصائص شبه – النقطية (BOUND) [1]، وتعتمد الكميات المحفوظة (CONS) على تماثل المجال محل الاهتمام، وقد أحدث ذلك في مجموعة

---

(١) انظر الفصل السادس (فقرة ٦-٥).

مكتبة الفكر الجديد

المفاهيم (GT) الجسيمية النظرية نقاشاً في القسم التالي، فبقيت خصائص شبه الموجية للمادة الكلاسيكية أو المجالات الإشعاعية في (WAVE)، وقد عبرت خاصية شبه – الجسيمية (DISK) عن التكميم لأنماط المجالات بدلالة كمات الطاقة $E=h\nu$ أو كمية الحركة $p=\hbar k$ التي تخلقت أو تلاشت، وقد نشأ هذا من كمومية المجال أو من قواعد تحويل مؤثرات المجال، فبالنسبة إلى البوزونات تعطي هذه القواعد بدلالة المحولات، وبالنسبة إلى الفيرميونات تعطي بدلالة ضد المحولات، ومن ثم حسم وجود لف كمات المجال في قائمة (MESQ) في الخصائص الذاتية، وبتثبيت استعمال المحولات أو المحولات المضادة فإن اللف يحدد الإحصائيات المتتالية لـ(NDIST) محدثة أي من إحصائيات فيرمي أو بوز – أينشتين، وبهذه الطريقة ظهر تأثير اللف على الخاصية المعتمدة (INDEP)، والتي لها تحول جوهرى بالمقارنة مع الخاصية الكلاسيكية المقابلة[1].

والعلاقة بين (NLOC) و(LOCPD) هي نفسها كالخاصة بالفوتونات[2]؛ حيث توصف كمات المجال عن طريق متجه موجي معين k أو التردد ν وأنها لا تتواجد في حالات أو مستويات موضعية حتى لو أنها قيست عن طريق عداد جسيمي وبالتالي يصلح موضعيًا لجميع الأغراض العملية في تطابق مع الخاصية الإجرائية (LOCPD).

وقد أحدثت قوانين الحفظ (CONS) ترابطات غير موضعية لكمات المجال المقاسة؛ مثل المثال المعروف تمامًا لترابطات (أينشتين – بودولسكي

---

(١) انظر الفصل السادس (فقرة ٦-١).

(٢) انظر الفصل السادس (فقرة ٦-٢-٢).

مكتبة الفكر الجديد

– روسين EPR) المعروضة[1]، إضافة إلى أن قواعد المحولات (COMM) تكون مسئولة عن إمكانية الترابطات شديدة اللا موضعية، وعلى سبيل المثال معاملات مؤثرات قوى المجالات الكهربية والمغناطيسية لمجال ماكسويل الكمي لا تحول أو تبدل، أيضًا، أين تكون شدة المجال؟ والمؤثرات الطورية التي قد تنشأ في الكم الضوئي[2] ترتد غير متحولة بمؤثر عدد الإشغال وبالتالي، كم عدد كمات الضوء التي يحويها شعاع الليزر في المستوى المتسق؟ فبوضوح لا يوجد بالعديد من مستويات المجال قيمة محددة لهذه الكميات، وسوف يناقش في الفصل التالي النتائج غير الموضعية.

وتأكدت نقطة إضافية، كمات المجال للمجالات الكمية المتفاعلة المقابلة للمفهوم الإجرائي للجُسيم (OP). تتجمع كمات المجال للمجالات الحرة للخصائص الديناميكية مثل الطاقة (أو التردد) والكتلة والشحنة واللف المغزلي، إضافة إلى جميع الأغراض العملية فإنها تعتبر متمركزة في العداد الجسيمي، ويقابل عدها الامتصاص الكمي (أو ما يقابلها أكثر تعقيدًا في العمليات التشتتية مثل ظاهرة كومبتون). والمطلب أن كمات المجال للجسيمات غير المتفاعلة موجودة وتبدو متناقضة، ومع هذا فتفسر تفاعلات المجالات الكمية بدلالة سعات التشتت، بينما تعتبر الجسيمات الداخلة والخارجة لها تصرف حر عند النهاية الطرفية. (ويكون لمربع سعات التشتت معنى احتمالي معتاد) إضافة إلى خضوع عمليات الرصد لقوانين الحفظ ولقواعد الانتقاء الفائقة للخصائص الديناميكية لكمات المجال، على الأقل

---

(١) انظر الفصل السادس **Einstein etal.1935**

(٢) انظر على سبيل المثال **Walls and Milburn 1994,23-62**

مكتبة الفكر الجديد

بالنظر إلى الكميات المرصودة من الطاقة والكتلة والشحنة واللف المغزلي وهلم جرًّا..، وتتصرف كمات المجال التشتتية كلاسيكيًّا وفي أي حالة فإنها لا تتفرد بواسطة مسار.

٦-٤-٢ تعريف المجموعة النظرية

طبقًا للتركيب الخاص بالمستوى الفضائي ومعادلات المجال فإن نظرية المجال الكمي تقدم بديلين ممكنين للمفهوم الجسيمي الكلاسيكي: كل أنماط المجال سواء التي يعمل فيها معامل التأثير التخليقي أو الإفنائي أو كمات المجال التي تخلق وتفنى، يوصف كلاهما بدلالة تجميعة الخصائص الديناميكية نفسها ومن وجهة النظر الإجرائية (OP) فإنها خطوة واضحة لتحديد جسيمات فيزياء الجسيمات السارية مع كمات مجال نظرية المجال الكمي لكن من وجهة النظر الأساسية أو البديهية فإن الخصائص التركيبية لمعادلات مجال نظرية المجال الكمي تكون هي السائدة، فماذا يكون تكوين فضاء الحلول لهذه المعادلات المجالية؟

في هذا التوجه فإن التعريف المعتاد للجسيمات يكون مع التمثيل المتعذر تبسيطه لمجموعة بوانكاريه، فمجموعة بوانكاريه هي مجموعة التحويلات المتماثلة الزمنية المكانية للنظرية النسبوية وإن إحدى مجموعاتها الفرعية هي تحويلات لورنتز، وطبقًا لنظرية نيوتن للفيزياء النظرية فإن عدم تغيير النظرية الفيزيائية يكون مصحوبًا بقوانين حفظ معينة محققة عن طريق كميات فيزيائية للنظرية، وبهذه الطريقة فإن قوانين الحفظ للكتلة والطاقة وكمية الحركة الزاوية والشحنة تكون مقترنة الاتصال وكمية الحركة وكمية

مكتبة الفكر الجديد

الحركة الزاوية والشحنة تكون مقتربة الاتصال بالتماثلية للديناميكا الفيزيائية. في عام ١٩٣٩ أظهر فيجنز ببحثه الجوهري أنه يمكن تقسيم الحلول لأي معادلة مجال نسبوي طبقًا لتمثيل مجموعة بوانكاريه المتعذر تبسيطها بدلالة كميات الكتلة واللف المغزلي والندية[١]. وهذا يمسك بحلول جميع معادلات المجال من أن تكون كمية أم لا، ومن ثم فإنها لا تكون محددة لنظرية الكم على الإطلاق وتطبق عمومًا إلى حد بعيد على أي نظرية نسبوية للمجالات غير المتفاعلة إضافة إلى أنها قد تمتد لمعادلات المجال غير النسبوي أي إلى مجموعة جاليليو للميكانيكا غير النسبوية وميكانيكا الكم.

قد تذكر في النهاية، أن هذه التطورات لا تطبق فقط على ميكانيكا الكم ولكن تطبق أيضًا على جميع النظريات الخطية، على سبيل المثال، معادلات ماكسويل في الفضاء الفارغ [...] واضطراد الزيادة في العمومية يتم التحصل عليها عن طريق الحسابات المعروضة كما قورنت بالنظرية المعتادة للممتدات المتكونة في عدم وجود افتراضات مرتبطة بطبيعة المجال للمعادلات ذات الشأن وتكون ضرورية[٢].

يعتمد اختيار معادلة المجال النسبوية النوعية على اللف المغزلي. وتختص معادلة كلين – جوردن باللف المغزلي ذي القيمة (١/٢)، وتختص معادلات ماكسويل باللف المغزلي الذي يساوي واحدًا (١)، وأخيرًا فقد تحولت إلى أن حفظ الندية أو عدم الحفظ الذي يعمل فرقًا آخر معهما) في نظرية المجال الكمي النسبوي يكون لكمات مجالها الخاص لف مغزلي صفر

---

(1) Wigner 1939

(2) Wigner 1939 " نظرية الممتد المعتاد" هى ميكانيكا كم فى فراغ هلبرت.

مكتبة الفكر الجديد

و ١/٢ أو ١. ذلك طبقًا لتصنيف فيجنز الذي يعطي قيمة اللف المقابل لحلول معادلات المجال الخاص، ومن ثم نواجه التباسًا ذا دلالة وقد ذكرت سابقًا: في سياق نظرية المجال الكمي فإن الجسيمات قد تحدد سواء بكمات المجال أو بحلول معادلات المجال أي بالمجالات أو بأنماط المجال، وهذا يصنع فارقًا أساسيًا لجميع حالات أو مستويات المجال عدا الحالات المعينة لعدد الإشغال واحد ١ وإضافة لهذا المفهوم الملتبس هي الحقيقة التي تقول: إن تعريف "جسيم" فيجنز لا يكون خاصًا بالجسيمات على الإطلاق.

لقد ساعدت ورقة فيجنز لعام ١٩٣٩ في كشف عظيم القيمة للمحاولات الأخيرة لإيجاد نظرية مجال كمي نسبوي مقبولة للجسيمات الأولية، وعلى وجه الخصوص كانت عاملاً مؤثرًا على هايزنبرج عندما حاول تكوين نظرية مجال موحد ينبني على التماثلية، فقد أوصل مفهوم الجسيم الأولي المميز بقيم معينة للخصائص الكمية مع طريقة فيجنز لتصنيف حلول معادلات المجال النسبوي بدلالة الكتلة واللف والندية، وقد اعتبر هايزنبرج الجسيمات الأولية تمثيلاً لعدم تغيير لنظريته (نظرية المجال):

يعرف قانون الطبيعة للتماثل الأساسي المعين العملى P مثل الانتقالات في الفضاء أو الزمن، فإنها تعين بهذه الطريقة الإطار الذي يمكن أن تحدث فيها جميع الأحداث للجسيمات الأولى المقابلة لأبسط تمثيل لهذه التماثلات (في فهم نظرية المجموعات الرياضية)[1].

---

(1) Heisenberg 1971,879, وأيضًا ترجمتى.

حتى فى 1975، ظل هايزنبرج يريد وضع المقياس غير المتغير للتشتت غير المرن العميق لليبتون- مع النيوكليون (انظر فى هذا المضمار الفقرة ٤-٣-٢) ، انظر 1976 Heisenberg

مكتبة الفكر الجديد

تتفق هذه الخصائص مع الافتراض بأن الجسيمات الأولية تكون مرجعية لنظريات المجال الكمي، كل تمثيل لمجموعة متماثلة يتميز بمعادلة مجال نوعي لنظرية المجال الكمي. إن التمثيل المختلف المقابل للمستويات المختلفة للمجال الكمي يوصف بالمعادلة، التمثيل المتعذر تبسيطه المقابل لأنماط أساس المجال أي المقابل للجسيمات التي تعتبر أولية.

وأخيرًا أوصل بعض المؤلفين المفهوم الجسيمي بتقسيم فيجنز للتمثيل غير المبسط لمجموعة بوانكاريه، ولكن دون عمل أي فرق بين التمثيل الرياضي لمجموعة التماثل والجسيمات الفيزيائية، على سبيل المثال، أعطى فون فايشكار الشرح غير المتقن التالي للعلاقة بين التماثل والجسيمات الأولية:

لقد حاولت فيزياء الجسيمات الأولية السارية أن تقر نظام الجسيمات الأولية عن طريق مجموعات التماثل [...] إن وجود الجسيمات يكون متتابعًا لحظيًا للنظرية النسبية الخاصة؛ وهي التمثيل غير المبسط لمجموعة بوانكاريه[1].

لقد اعتنت ورقة فيجنز الأصلية بالمسألة الرياضية لنظرية المجموعات؛ حيث ذكرت التطبيقات الفيزيائية هذه المسألة، واعتنت هذه الورقة بمستويات ميكانيكا الكم والمجال وبالأحرى الجسيمات، وأن لفظ

---

(1) Von Weizsaker 1985,37-38,

وقد أشار هايزنبرج وفون فايز سيكر إلى الجسيمات الأولية بوصفها مقابلة للتمثلات غير القابلة للاختزال لمجموعات التماثل المتتالية. وقد أخذ بهذه النقطة مرة أخرى فى الفصل التالى عندما تناقش أجزاء المادة.

مكتبة الفكر الجديد

"جسيم لم يكن من مفرداتها، يجب أن يقال: إن تعريف فيجنز لمفهوم الجسيم يرجع بالأحرى لمن تبع فيجنز أكثر من مرة، وأنه حقًّا يعتبر تعريفًا مطلقًا (ضمنيًّا) لمفهوم الجسيم (في فهم هيلبرت بطريقته البديهية) وطبقًا لها، فإن الجسيم الذي له كتلة ولف وندية هو نموذج فيزيائي لنظرية المجموعة الرياضية، إن المرجع التاريخي التالي لمفهوم فيجنز للجسيم لعام ١٩٣٩ هو بالتالي قائمة تفسيرية لمصطلحات الفيزيائيين بأشكالها التاريخية:

لقد فاق نجاح فيجنز في عام ١٩٣٩ في عمل التعريف: الجسيم الأولي هو التمثيل الناتئ المتعذر تبسيطه لمجموعة بوانكاريه، P، ذات الكتلة ≥ 0 والطاقة ≥ 0 واللف المغزلي $s\in\{.1/2,1,...\}$ وهو لم يقل مجردًا بأن الجسيم يوصف جيدًا عن طريق مثل التمثيل: بترك كلمة جسيم هذه غير معرفة، وهكذا يكون الجسيم عبارة عن زوج $(H,U_{(m,s)})$ حيث H هي فضاء هيلبرت، U هي وحدة الفعل المستمر لمجموعة بوانكاريه P على H الخاضعة لـ $U(a,\Lambda)U(b,M)= \omega U(a+ \Lambda b, \Lambda M)$ حيث $a,b\in R^4$ تكون متجهات زمانية مكانية وتكون Λ,M هما محددات لورنتز وأن (m,s) هما الكتلة واللف (المغزلي)[1].

وهنا يعرف الجسيم المعطى ذو الكتلة m واللف s بدلالة التركيب البديهي؛ أي أن البناء الرياضي ينبني على الحقائق البديهية للتحليل الدالي ونظرية المجموعات، وتتكون البنية من الفضاء الدالي المسمى بفضاء هيلبرت ومجموعة لورنتز غير المتغيرة المرسوم خرائطها على هذا الفراغ (الفضاء)، وهذا يؤدي إلى المعنى العام الكامل للفظ "جسيم وأنه يمتد إلى

---

(1) Streater 1988, 144.

مكتبة الفكر الجديد

تعميم الشحنات q_i للتماثل الديناميكي أو الداخلي لنظريات القياس غير المتغيرة مثل $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ تماثل النموذج القياسي الساري في فيزياء الجسيمات، إضافة إلى جعلها تتحرر إلى مفهوم تكسير التماثلية المتصلة التي توجد في النموذج القياسي، محدثة الكتل الليبتونية، وحيث إن التماثل لا يثبت الشكل المحدد لدوال هيلبرت الفراغية، فإن المفهوم يكون مفتوحًا لتطوير النظريات المستقبلية في فيزياء الجسيمات، وطبقًا لهذا، على سبيل المثال الأوتار لنظريات الأوتار الفائقة السارية (والتي بالأحرى يتصور أنها امتداد للأشياء شبه النقطية) هي جسيمات أيضًا. وتقرأ تعريفات الجسيم الناتج بعمومها كالتالي:

(GT) الجسيمات (الأولية) طبقًا لنظرية المجموعات.

(MESPQ) هي تجميعه الكتلة m والطاقة E واللف s والندية P والشحنات q_i.

(REPR) هي الخاصة بالتمثيل المتعذر تبسيطه للمجموعات المتماثلة.

(INDEP) غير المعتمدة بعضها على بعض.

(FIELD) هو الموضوع المرتبط ببعض معادلات المجال.

(CONS) هو الشيء المرتبط بقانون الحفظ (البقاء).

يعبر (MESPQ) عن الخصائص الديناميكية لمفهوم الجسيم العامل (OP) ومفهوم كمات المجال (FQ) بدلالة مجموعات التماثل، وأن الكتلة واللف والندية وبعض الشحنات العامة تقسم حلول معادلات المجال للتماثلات الزمانية المكانية والديناميكية (أو الداخلية). وارتباط هذه التماثلات يقترب من

مكتبة الفكر الجديد

قوانين الحفظ (CONS) للحركة والخصائص الديناميكية للجسيمات وللمجالات، إن الخصائص الموضعية الكلاسيكية (LOCAL) وما نتج منها (LOCPD) و (DISC) لكل من (QM)، (OP)، (LQ) و(FQ) قد تم تخطيها. طبقًا لتعريف فيجنز فإن الجسيمات لا تطول موضعيتها فلا يجب أن تكون موضعية أو غير متصلة. فقط يكون لنظرية المجموعات (GT) ملمحًا متسقًا مع المفاهيم الجسيمية في الفصول السابقة؛ وهو أن تكون الجسيمات مبدئيًا غير متفاعلة، فيتصور أن تكون غير معتمدة نسبة إلى ما حول عالمها مثل المواد الميتافيزيقية المعتادة، ولكن هنا لا تستطيع (INDEP) أن تعني عدم الاعتماد الإحصائي، فهذه الخاصية لا يمكن أن تصنع أي فهم لجعل التفاعل حرًا أو غير متشابك[1]. بهذا السبيل فإن (INDEP) تصبح مقيدة لمعادلات المجال (FIELD) وتكون الجسيمات موضوعًا لمعادلات المجال غير المتشابك، وهذا أيضًا حقيقي للموجات الكهرومغناطيسية الحرة بوضوح، وبهذا السبيل تم إهمال الفرق بين الجسيمات والمجالات.

طبقًا لنظرية المجموعات فإن السمة المميزة الوحيدة للجسيمات هي (REPR)، أنها تتوافق مع بعض التمثيل المتعذر تبسيطه أو القابل للاختزال لتماثلات بعض معادلات المجال المتعلقة بقوانين حركتها وكمياتها الديناميكية، وقد يسأل البعض عن ما إذا كان مثل هذا المفهوم المجرد للجسيم يكون عقليًا أيضًا، وأن هذه حقيقة غير متصله مباشرة بالظواهر التجريبية،

---

(١) هذا هو الافتراض الديناميكى المتقدم للإحصائية غير المعتمدة، وقد أخذ مرة أخرى بمسألة الاستعمال المتعدد للحد غير المعتمد فى الفصل السادس (الفقرة ٦-٦) والفصل الثامن (الفقرة ٨-٥).

مكتبة الفكر الجديد

وأنه يعرف أنواع الجسيم الذي له كتلة ولف وندية وبعض الشحنات العمومية ولكنها لا تجلبهم إلى حصرهم فرادى جسيميًّا أو تكون أحداثًا موضعية في تجارب فيزياء الجسيمات، وتكون مكوناتها العاملة عند مستوى النوع وبالأحرى المستوى الرمزي، وأنها تقابل أنواع الحصر الجسيمي المنفرد والمسارات وأحداث التشتت، وهذا يتوافق مع التفسير الموحد لنظرية الكم ولكن أكثر تجريدًا من نظرية القياس شبه الكلاسيكي لفيزياء الجسيمات، في الحقيقة فإن (GT) هي مفهوم نظري خلفي ويخدم في تقسيم أنواع النظريات الممكنة للظواهر وبالأحرى الظواهر نفسها[1].

٦-٤-٣ الجسيمات الافتراضية

إن المفهوم الجسيمي حتى الآن يناقش في سياق المجالات الكمية غير المتفاعلة فقط، وبوجود تفاعلات المجالات الكمية ظهر العديد من المسائل المتصورة الجديدة في الساحة؛ من بينها التمييز بين كمات المجال "الحقيقية" و"الافتراضية" ومسألة إعادة التطبيع، وسوف تذكر هذه الأخيرة فقط في نهاية هذا الفصل بينما سنعتني الآن بما يشكل ببعض من التفصيل.

---

(١) انظر: Wigner 1964, Falkenburg 1988,

في الخاصة البعد-نظرية للتماثلات، في تعريفات الجسيم المتتالية تم طمس الندية لسببين اثنين الأول نظرى، ويعود لكسر حفظ الندية في التفاعلات الضمنية، والسبب الثانى عملى، حتى لو أن الندية تكون خاصية جسيمية ذاتية ولا يمكن قياسها للجسيمات المفردة، ولكن فقط عند المستوى الموحد؛ أى من عدم التماثليات فى التوزيع المكانى للعد الجسيمى المتعدد.

مكتبة الفكر الجديد

بشكل واضح فإن مفهوم المجالات الكمية غير المتفاعلة ليس حقيقيًا فى واقعيته، والأساس التجريبي لفيزياء الجسيمات يتكون فقط من الظواهر المشاهدة للتفاعلات دون الذرية المسماة بالقياسات الموضعية والمسارات الجسيمية وأحداث التشتت ومساحات المقطع الكلية والجزئية والرنينيات والأحداث المتشعبة النفاثة وهلم جرًا. ومتى وجدت هذه الظواهر مشروحة وجدت معها نظرية الكم للتشتت، وتقابل نظرية المجال الكمي الظواهر الموجودة في تجارب الحصول على مساحات مقاطع التشتت عند الطاقات العالية، ولكن أيضًا تم حساب التنبؤات الدقيقة للديناميكا الكهربية عند الطاقة المنخفضة؛ مثل إزاحة لامب والمعامل الجيرومغناطيسي للإلكترون باستخدام نظرية الكم للتشتت، وحقيقة أن نظرية المجال الكمي للتفاعلات هي نظرية تشتت وكميتها الرئيسة هي المصفوفة S- التي تحتوى على الاحتمالات الانتقالية لعمليات التشتت وحساباتها معقدة، ويتم حسابها باستخدام نظرية الاضطراب غير المعتمدة على الزمن، وهنا يأتي الدور الذي تلعبه الجسيمات الافتراضية وقد سميت "افتراضية" على التضاد مع "حقيقى" للجسيمات القادمة والخارجة أو مستويات المجال. وذلك في فهم ما لم يكن حقيقيًا، وترتبط ناقلاتها بالتمدد الاضطرابي للمصفوفة S-.

تبدأ الحسابات من اصطلاح التفاعل $\zeta(x)$ لكثافة لاجرانج للمجالات المترابطة (المقرونة ببعضها) مثل مترابطة ديراك ومجالات ماكسويل[1]. الرتبة السفلى لنظرية الاضطراب هي متقاربة بورن، وأنها تنبني على

---

(١) يتبنى الترابط على فكرة عدم التغير المقياسى التى لا يمكن شرحها هنا، وتم تحليل هذا المفهوم فى Lyre2004.

مكتبة الفكر الجديد

الافتراض بأن الجسيمات القادمة والخارجة على الترتيب تقابل مستويات المجال الكمي الابتدائي والنهائي،

$$|i\rangle = \lim_{t\to-\infty}|t\rangle, \qquad (6.9a)$$

$$|f\rangle = \lim_{t\to+\infty}|t\rangle, \qquad (6.9b)$$

وهي متماثلة مع المجالات الكمية غير المتفاعلة، وفي متقاربة بورن تعطي تفاعلة لاجرانج عن طريق الاصطلاح التالي الذي يقابل الرتبة السفلى لأشكال فايمان:

$$\langle f|S|i\rangle_{Born} = \delta_{fi} - i\int dt'\langle f|\int d^3\chi\, \mathrm{i}|\mathrm{L}'(\mathrm{X},\mathrm{t})|i\rangle. \qquad (6.10)$$

وتكون عناصر المصفوفة S هي سعات التشتت الخاصة بعمليات التشتت الكمية، وتتعلق سعة التشتت بالمقطع المستعرض لتفاعل الجسيم كما يلي:

$$(\frac{d\sigma}{d(q^2)dE})_{QFT} : f(p_1^i,...,p_n^i;p_1^f,...,p_m^f)|\langle f|S|i\rangle|^2. \qquad (6.11)$$

وقد توافقت القيمتان عاليًا بعامل الفيض الذي لم يعط هنا، ويعتمد عامل الحركة f على كميات الحركة $p_1^i\ p_n^i;\ \ldots p_1^f \ldots p_m^f$ للجسيمات n الداخله والجسيمات m الخارجة للجسيمات المنفردة المتفاعلة، وترصد أو تعد الجسيمات القادمة والخارجة أو مستويات مجال الكم كشيء حقيقي. وهذا يعني أنهم يحملون معنى عاملاً، وهم يقابلون مستويات الكم التي يتم تحضيرها وقياسها في تجارب التشتت. (على الأقل تفعل لجميع الأغراض العملية).

عملية التشتت نفسها هي صندوق أسود. إن شعاع الجسيمات القادم (الساقط) يتم تحضيره في مستوى كمي معرف جدًا، ويتم قياس المسارات

مكتبة الفكر الجديد

وما يقابلها من مستويات كم للجسيمات الخارجة ودون ملاحظة ما يحدث بالداخل، ورياضيًّا يوصف التشتت في الرتب السفلى لنظرية الاضطراب: في تقريب بورن ممكن أن يكون رتبة ثانية وفي ظروف نادرة يكون لبعض رتب أعلى، ويعاد تركيب التمدد الاضطرابي ما يذهب إلى داخل الصندوق الأسود بدلالة ما يسمى عمليات افتراضية، وأنها تصف انبعاث وامتصاص كمات المجال الافتراضي، وناقلات كمات المجال الافتراضي هي المركبات الرياضية للتراكب النظري الكمي، وبجاهزيتها للعمل فإنها لا تعني إمكانية إعادة فكها إلى جسيم مفرد مساهم، إنها لا شيء ولكن المساهمة الرياضية للخطوة التقريبية هي مثل الانسياق الهارموني للذبذبات الميكانيكية للوتر ومركبات فورير للمجال الكهرومغناطيس الكلاسيكي أو الدورات وفلك الدوران بنظام بطليموس الكوكبي وشكليًّا فإنها النظير الكمي للخطوط المستقيمة في النموذج الكلاسيكي للحيود معه جبهات الموجة للموجات الكرية المتقدمة، وتتقدم جبهات الموجة الكلاسيكية طبقًا لقوانين الضوء الهندسي وعند إزاحة معينة تجمع السعات المتقدمة في تداخل بناء أو هدم إلى شدة أهداب التداخل المُلاحظة.

عمل فايمان نموذجًا لتفاعل المجالات الكمية بروح المثال الأخير عن ماذا يحدث داخل الصندوق الأسود لتشتت مجالات الكم المعاد بناؤها بدلالة النواقل، ورياضيًّا فإن هذه النواقل هي دوال جرين والتي يجرى تكاملها وجميعها قبل حساب الاحتمالية من سعات التشتت وتصف النواقل تقدم كمات المجال الافتراضي، وأنها تقابل تقدم جبهات الموجة في النظير الكلاسيكي (أو سعات المجال غير الكمومي) ومرة أخرى يكون تكميم المجال الكلاسيكي

مكتبة الفكر الجديد

نظيرًا للتكميم الثاني للدوال الموجية لميكانيكا الكم، ومن ثم تحدث النواقل التي تسهم في تفاعل المجال الكمي بعمل صورة كمية للمسار التكاملي المتكون لميكانيكا الكم العادية نحو ذلك يكون جيدًا، فحتى هذه النقطة لا توجد ألغاز ولم تظهر مفاهيم مرتبكة، ويعبر عن تأثير مجالات الكم التشتتية بدلالة كمومية المسار التكاملي المتكون لميكانيكا الكم العادية وأن حساب مصفوفة -S تكون طويلة ومملة[1] وتكون في تجميع السعات للعديد من العمليات الممكنة لانبعاث وامتصاص كمات المجال الافتراضي، ولعمل ذلك فإنه يكون أكثر ملاءمة للتعبير عن معاملات المجال بالتمثيل بكمية الحركة مفصلاً ذلك على محاور الزمكان، (ويستخدم نقل فورير البسيط في التغيير من محاور الزمكان للتمثيل بكمية الحركة؛ ومع هذا يكون ذلك شبيه التحول من النظام البطلمي إلى النظرة الشاملة لكوبرنيكوس لتصبح الأشياء أكثر بساطة من وجهة النظر الأكثر تجريدًا).

ولم يفسح تمثيل كمية الحركة لمجالات الكم وتشتتها مجالا طويلاً لأي فكرة زمانية – مكانية لما يحدث أثناء تشتت مجالات الكم، وتبقى فقط الفكرة المجردة لاحتمال انبعاث وامتصاص كمات المجال المصاحبة لانتقال معين لكمية حركة – طاقة، وتكون الخطوة الثانية في تبسيط الحساب عن طريق نقل التجميع للناقلات المختلفة إلى لغة شكلية من أشكال فايمان وكل واحد من الناقلات بالمجموعة في سعة التشتت والتي تقابل رياضيًا خط فايمان ويرمز

---

(١) لكي تصف الحالات (المستويات) الفيزيائية فإنها تحتوى على حيل رياضية؛ مثل الرتب العمودية والرتب الزمنية لعامل الضرب، انظر مثال:

Nachtmann1990,108-110, Itzykson and zuber, 1985,110-111and123.

مكتبة الفكر الجديد

كل شكل من أشكال فايمان إلى عملية افتراضية مساهمة في سعة التشتت، ومن ثم توجد قواعد معرفة تمامًا للأشكال المقابلة بين الصور الرياضية للتمدد الاضطرابي والتوضيح التمثيلي لانبعاثتها وامتصاص كمات المجال الافتراضي ولم يوجد تفصيل أكثر لأشكال فايمان.

إن الناقلات داخل الصندوق الأسود تسهم فقط في تمدد اضطراب تفاعل المجالات الكمية، ولنتحدث عنها بدلالة الجسيمات الافتراضية يكون مجرد حديث عارض وقد استخدمت بعض هذه الاصطلاحات في كتب نظرية المجال الكمي بينما تجنبتها كتب أخرى[١]، وقد وصف فايمان بنفسه العمليات الافتراضية وكمات المجال الافتراضي والفوتونات الافتراضية وهكذا في أوراقه ومحاضراته[٢] ولكنه تحدث عن الجسيمات الافتراضية في ندواته العامة وكتبه[٣] وبالتالي– ما الخصائص الجسيمية لهذه الجسيمات الافتراضية التى تجعلها لا تزال حاضرة؟

---

(١) ضم (Nachtmann1990) كلا الوضعين، فمن وجهة النظر الأولى، أكد أنه فى حدود معين لما يسمى علاقة عدم التحديد بين الطاقة والزمن فإن الإلكترونات المشحونة غير المتفاعلة قد تنبعث ويعاد امتصاص الفوتونات الافتراضية (Nachtmann1990.99) ومن الوجهة الأخرى فقد استنتج أن الدور المتفرد لسعة التشتت (العمليات الأولية) تكون افتراضية؛ الاحتياط فى الأمر، مع هذا لا نسأل متى، أو كيف تحدث عدة عمليات أولية فى تجربة خاصة، وهذا يكون سؤالاً لا معنى له تمامًا؛ حيث إن يكون التفاعل وتحوله لعمليات أولية يكون مساعدة نظرية تامة لسحاب سعات الانتقال. Nachtmann1990,126.

(2) Feynman1949a,b,196.
(3) Feynman1985,1987,10.

مكتبة الفكر الجديد

ويجب تمييز ذلك كالتالي:

الجسيمات الافتراضية (VP) هي:

(MESQ) مجموعة من m والطاقة E ، واللف المغزلي s والشحنات q_i .

(DISC) عدم اتصالية؛ أي أنهم يأتون في كمات.

(ERT) جزء من تمدد الاضطراب لمصفوفة –S.

(WAVE) في مستويات متراكبة ومتداخلة.

(PATH) يتقدم في مسارات طولية والتي تتجمع طبقًا لتكون المسار التكاملي لميكانيكا الكم.

(NIND) ليست غير معتمدة؛ أي أنها مختصة بالتفاعلات.

(NCON) مسموح بانتهاك حفظ الطاقة؛ أي أنها قد تتجنب الغلاف الكتلي أثناء فترة التفاعل طبقًا لما تسمي علاقة عدم التحديد للطاقة والزمن $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$.

لنتحدث عن الجسيمات الافتراضية في فهم (VP) بوضوح نجد أنها تنشأ من التعامل مع كمات المجال ونسميها جسيمات في المفهوم الجسيمي نفسه (FQ)، ولكن في وضع المتعارض لجميع المفاهيم الجسيمة المذكورة من قبل فإن الجسيمات الافتراضية تكون غير مفهومة بشكل غير مستقل.

مكتبة الفكر الجديد

وأنها أساسًا ترتبط بالتفاعلات ومن ثم فإنها ليست مرتكزة ولا مستقلة (غير معتمدة) ولا منفصلة ولا معتمدة على استخدام قانون حفظ الطاقة[1]، على وجه الخصوص فإن خاصة شبه الجسيم النظرية (PATH) لا يجب أن ترتبك بمسارات الجسيمات الكلاسيكية (TRAJ) على الإطلاق ويقف السابق على ما به من شكل خاضعًا للتجميع الذي يجرى لما لا نهاية من الاحتماليات، ويعتمد كل من (PATH) و(WAVE) على ما يكافئ الوضع أو الشكل الأرضي ولجميع هذه الأسباب فإن مفهوم الجسيم الافتراضي بما في خاصته لا يحمل أي معنى جاهز للعمل به، وبالتالي فإن هذا التحدث العارض يثير المفهوم المرتبك كلما لمح أو ظهر للجسيمات الافتراضية أي على تساوي مع كمات المجال الحقيقية أو الجسيمات الفيزيائية الداخلة والخارجة لتجارب التشتت، تحدث الجسيمات الافتراضية فقط في إسهامات مركبة للتمدد الاضطرابي وتسمى جسيمات في حالة فهم كمات المجال التي تتولد وتتلاشي أثناء عملية التفاعل ولكنها تسمى افتراضية في فهم غير جاهز المعنى، إن مفهوم الجسيم الافتراضي يعترف فقط بإفساح المجال لتحليل التجربتين بأن كمات المجال الافتراضي لا شيء، ولكنها وسيلة أساسية في حسابات التفاعلات لمجالات الكم.

---

(١) يجب ملاحظة أن هذه النصوص التى تدور حول الجسيمات الافتراضية التى تقابل الخطوط الداخلية لأشكال فايمان هى ليست تدور حول العمليات الافتراضية التى تقابل ذروة أشكال فايمان فالأخيرة تؤخذ بطرق مختلفة، بالإضافة إلى أنه أصبح حاسمًا أن الجسيمات الافتراضية قد لا تكون لها كتلة مدارية لزمن قدرة $\Delta t = \hbar/2\Delta E$، وأننى قد أهملت خلال عرضى فى هذا الكتاب خاصية مهمة أخرى هى فترة الحياة للجسيمات، وقد أخذت فى الحسبان على سبيل المثال فى تعريف الجسيم المعروض فى (Bogoliubov and shirko v 1959,5)، ومع هذا فإنها خاصية احتمالية.

مكتبة الفكر الجديد

ومع هذا فإن هذا لا يعني شيئًا وأن التمدد الاضطرابي للمصفوفة بدلالة الجسيمات الافتراضية يكون افتراضيًّا تمامًا (أو خياليًّا) وتوصف العمليات الافتراضية بدلالة انبعاث وامتصاص الجسيمات الافتراضية المساهمة في سعة التشتت أو الاحتمالية الانتقالية، ومن ثم قد يعتبر تجميع عدة لا نهائيات من الجسيمات الافتراضية سببًا في التأثير التجمعي الحقيقي، وبهذا الحس يكون لها معنى جاهز للعمل به بوضوح وما يقاس هو عنصر المصفوفة أو الاحتمالية الانتقالية بين جسيمات حقيقية داخله وخارجة وتنشأ الاحتمالية الانتقالية من جميع كمات المجال الافتراضي الموجودة في الرتب الأكثر انخافضًا وارتفاعًا للمتراكبات المناسبة أو وثيقة الصلة بأشكال فايمان.

في ميدان الطاقة المنخفضة يمكن في بعض الأحيان لشكل فايمان إسهام فردي واحد للتمدد الاضطرابي، حتى إنه توجد عدة قياسات دقيقة معروفة جيدًا والتي تؤسس شكل فايمان واحد أو ما يقابلها من ناقل لجسيم افتراضي، وهذا يتم تطبيقه بصفة خاصة عن طريق اختبارات عالية الدقة للكهربية الديناميكية الكمية وقياس إزاحة $(g-2)/2$ للهيدروجين والقيمة g لقياس عامل الجيرومغناطيسية g للإكترون أو الميون، نظرية ديراك وحدها لم تصحح تنبؤات التركيب الدقيق الخاص بطيف الهيدروجين (لم تتشقق المستويات $S_{1/2}$ ، $P_{1/2}$ للرقم الكمي الرئيسي $n=2$) ولعامل الجيرومغناطيسي g تظهر قياسات إزاحة لامب للتركيب الدقيق للهيدروجين والعزم المغناطيس الشاذ للإكترون.

مكتبة الفكر الجديد

الفرق الشاذ *g-2)/2* بين تنبؤ نظرية ديراك والعزم المغناطيسي الفعلي قد تم قياسه بدقة عالية من السبق اللفي للجسيم المشحون في المجال المغناطيسي المتجانس، وينشأ التصحيح للرتبة التالية للديناميكا الكهربائية الكمية من شكل فايمان المفرد والذي يصف تفاعل الإلكترون الذاتي، وهنا تتوافق النظرية مع التجربة عند مستوى١ إلى 10^{8} بفارق دقيق بين النظرية والتجربة في الرتبة الثامنة(١)، وفي مثل هذه الحالة فإن التجارب تكون قادرة (لجميع الأغراض العملية)على إيجاد تأثير حقيقي مفرد لشكل فايمان الفردي (أو مجال كمي افتراضي) وحالة إزاحة لامب تكون مماثلة، وهنا تعطي الرتبة التالية لنظرية الاضطراب تصحيحًا مبنيًّا على شكلين لفايمان يسميان استقطابًا تفريغيًّا وتفاعلاً ذاتيًّا للإلكترون ويوضح التصحيح أن ٩٧% فقط من إزاحة لامب المشاهد يمكن أن يشرح دون مصطلح استقطاب تفريغي وتخبرنا كتب الفيزياء الجسيمية التجريبية أن قيمة ٣% المفقودة هي تطبيق للوجود الفعلي للمصطلح (استقطاب تفريغي)(٢)، ووجب على أي فلسفي أن يحصي بأن هذه حالة غير حقيقية، ولا تستطيع كمات المجال الافتراضي الموجودة في هذا الطرف أو المصطلح أن تخرج مفردة بدقة.

من ثم فقد بقيت الاستنتاجات السابقة بأن الجسيمات الافتراضية تكون وسائل أساسية للتمدد الاضطرابي لنظرية المجال الكمي، وأنها لا توجد بخاصتها، على أي حال فإنها لا تكون خيالية أو صورية ولكن تحدث

---

(١) لقد أخذ (Lohrmann 1992,109) لوهرمان عدة رتب عالية في حساب هذه العملية التي لم تتغير؛ انظر Perkins2000,41-42.

(٢) Lohrmann1992,108-109, وترجماتي.

مكتبة الفكر الجديد

تأثيرات تجمعية يمكن أن تحسب وتقاس بدقة عالية، وتكون مثل هذه التأثيرات التجميعية لإزاحة لامب في طيف الهيدروجين أو العزم المغناطيسي الشاذ للإلكترون، ويكون تأثير تجميعي آخر للجسيمات الافتراضية هو الكتلة والشحنة المعاد عياريتها للرتب العالية الناتجة لنظرية الاضطراب، وقد نتجت طريقة إعادة العيارية فيما يسمى الجسيمات "الفيزيائية"؛ أي المجمعة في وحدات الكتلة والشحنة التي تختلف عن الكتلة والشحنة الفعاليتين، ويرجع هذا التأثير التجميعي للاستقطاب التفريغي، لقد جسد ذلك بسحابة من الجسيمات الافتراضية، وبهذا المنطق للحديث العارض تهمل حقيقة أن هذا المغطى يحدث فقط في التفاعلات ودائمًا ترتبط الجسيمات الافتراضية بمثل هذه التأثيرات التجميعية، وفي هذه النقطه فإنها تشبه مكونات فورير للإشعاع الكهرومغناطيسي أو فلك دورات النظام الكوكبي لبطليموس، ومع هذا ففي عدة توجهات تعتبر أشبه بأشباه الجسيمات في فيزياء المادة المكثفة.

٦-٤-٤ أشباه الجسيمات

إن أشباه الجسيمات في فيزياء المادة المكثفة هي إثارات لنظام جسيمي متعدد شامل (ماكروسكوبي) فمثل الجسيمات الافتراضية لا تأتي بخاصتها، ولكن تكون مرتبطة بتأثيرات متجمعة أو جمعية، ومع هذا تأخذ العلاقة هنا بين السبب والتأثير سبيل دورة أخرى، فالجسيمات الافتراضية ليس لها تأثيرات منفصلة وتراكب العديد منهم يولد تأثيرًا جمعيًّا يسمى إسهام سعة التشتت حتى الرتبة n. ومع هذا، فأشباه الجسيمات هي التأثيرات الجمعية لجميع الشحنات والأنوية داخل الشبيكة الذرية (الماكروسكوبية) متلما في

مكتبة الفكر الجديد

البلورة، وتحت شبه ظروف شرطية معينة فإنها تكون منفصلة ومتمركزة، وتكون أشباه الجسيمات كمات طاقة مشحونة أو غير مشحونة والتي تتقدم خلال المادة الصلدة وتتفاعل مع بعضها كما لو أنها جسيمات منفردة، في حين يحتاج إلى تأهيل واضح، وأنهم نتاج من الإثارة التجمعية للعديد من المكونات دون الذرية للمادة الجامدة؛ حيث تتجمع عدة معان للرتبة العددية لـ ٦ × ١٠^٢٣ إلكترونًا ونواة ذرية[١].

إن النظرية الأساسية هي الميكانيكا الكمية لنظام عديد الجسيمات، وأن مكونات المادة الصلدة هي الإلكترونات والأنوية الذرية، وهى الجسيمات في فهم المفهوم الميكانيكي الميكانيكي الكمي الجسيمي (QM) وأنه ليس واضحًا كيف تكون الخواص الظاهراتية للأنواع المختلفة للمادة الصلدة مستنتجة من هذه النظرية، لقد صنعت المواد الصلدة في المعادن والأنواع المتنوعة لبلورات بتميزها بدلالة الرابطة الكيميائية من أحد الوجوه والموصلات وأشباه الموصلات والعوازل من الوجه الآخر، يمكن وصف عدة صفات أو سمات لسلوك الموصلات وأشباه الموصلات والعوازل بواسطة طرق تقريبية من وسائل ميكانيكية كمية جيدة، وأن أبسط الخطوات التقريبية هي نظرية هارتري – فوك والتي تسمى أيضًا المجال الذاتي – الثابت أو المجال – المتوسط التقريبي، وكان هدفها عند وصف سلوك أحد الإلكترونات في المجال المتولد بواسطة جميع الشحنات الأخرى لمكونات المادة الصلدة، وهذا يحدث النطاق البنائي للمادة الصلدة المعروفة جيدًا (والتي يمثلها مثال نموذج الترانزستور)، وهنا يفترض أن الإلكترون الحر يتحرك باستقلال في مجال

---

(١) بالنسبة إلى ما يلى انظر Anderson1997.

مكتبة الفكر الجديد

جميع الإلكترونات والأنوية الأخرى للمادة الصلدة، وينبني هذا التقريب على التأثيرات الجمعية التي تحدث ظهور أنواع الإثارات المسماة بأشباه الجسيمات، وعمومًا فمثل هذه التأثيرات لها من الكبر بحيث لا يمكن أن تعامل كالاضطرابات، ومن ثم فإن هارتري – فوك هاميلتونيان لا تحدث في العادة وصفًا صحيحًا للحالة الأرضية للمادة الصلدة؛ أي المستوى الكمي لأقل طاقة، وإن أفضل نتيجة تحققت في هذا السبيل هي التي تعطي أحسن تقريب مدهش لطاقة المستوى الأرضي، ومع هذا فإن أهم كمية على الإطلاق للمادة الصلدة ليست هذه الطاقة، ولكنها الفرق في الطاقة بين المستوى الأرضي والمستويات المثارة المنخفضة[1]، فإنها تعين عدة ملامح ظاهراتية شاملة (ماكروسكوبية) للمادة الصلبة وعلى وجه الخصوص خصائصها المغناطيسية.

لكي نحسب هذا الفرق الحاسم في الطاقة نجد أن طرق نظرية المجال الكمي تساعد جدًّا في ذلك، ويوجد بُعد اتصال في التناظر الصوري بين نظرية المجال الكمي ونظرية الجسيم المتعددة في فيزياء الحالة الصلبة سيبني التناظر على الحقيقة المسماة بالتكميم الثاني (الكمومية الشكلية لدالة شرودنجر الموجية للجسيم المتعدد) وتعطي الكمومية للمجال الكلاسيكي شكل النتائج نفسه. منذ أن كانت نقطة البدء هي معادلة المجال غير النسبوي كانت النتيجة هي التناظر غير النسبوي لنظرية المجال الكمي حتى في اتجاه هارتري – فوك النسبي المبسط كان مساعدًا جدًّا، فقد نسمح بإنهاء التعقيدات غير المتماثلة للدوال الموجية عديدة الإلكترون في المادة الصلدة وأحلت محلها

---

(1) 97-99، Anderson1997

مكتبة الفكر الجديد

عدد من التمثيلات لأنماط مجالية للمجال الكمي في فراغ فوك[١]، وقد ميزت الإلكترونات عدديًا فقط وخضعت لمبدأ باولي للاستبعاد، ومن ثم كان إحلالي للاستبعاد، ومن ثم كان إحلاليًا المستويات الكمية لإلكترونات المادة فقط، وتبنى الصورة بالتحديد على نفس مؤثرات التخليق والفناء وقواعد التحويل كما عرفت سابقًا بالنسبة إلى كمات المجال وحيث إن الإلكترونات هي فيرميونات فيجب أخذ المحول المضاد في هذا الشأن، فيتمثل أي إلكترون بواسطة المستوى $c_k c_k^+ \Psi_k$ والذي يختص برقم الإحلال ١ في فراغ فوك، وطبقًا لهذا الاتجاه فإن الإلكترونات المستقلة أو غير المتشابكة تقريبًا يكون لها خواص فيرمي الغازية.

وتدخل أشباه الجسيمات حيثما يصبح تقريب هارتري – فوك صريحًا أيضًا، وهذا يرجع إلى الإثارات الجمعية للإلكترونات أو لأنوية المادة الصلدة، الإثارات الجمعية تعني بالمادة الجامدة ككل وتجميعة الإلكترونات في حدود ٦×١٠^{٢٣} إلكترونًا ونواه ذرية؛ وهذا يعني أنها لا شيء ولكنها في مستويات كمية ماكروسكوبية للمادة الصلدة، والأكثر أهمية هي المستويات ذات الإثارة المنخفضة المذكورة سابقًا وهي تسمى الإثارات الأولية، ويمكن تعريفها في الاتجاه الأول كتناظر لكمات المجال بدلالة مؤثر التخليق والفناء q_k^+, q_k للكمات ذات كمية الحركة k .

حينئذ، فهذا تعريف مبدئي يمكن أن نتخذه للإثارة الأولية:

---

(١) انظر: Anderson1997,15-28

مكتبة الفكر الجديد

فكون الإثارة الأولية ذات كمية حركة k هي المؤثر الذي يخلق مستوى إثارة منخفضة لنوع خاص ذي كمية حركة k من المستوى الأرضي[١].

ومن الملاحظ أن أندرسون استدعى تعريفًا مبدئيًا لأن مفهوم شبه الجسيم يبنى على خطوة تقريبية وفي الخطوة الثانية يؤخذ في الحسبان التفاعل بين أشباه الجسيمات[٢]، فالمستويات المثارة وهي "النوع الخاص" بالنظر إلى أنواع مختلفة من الإثارة وهذه قد تكون نتيجة إضافة إلكترون بتذبذبات بطيئة لقلب الذرة الأيونية للمادة الصلدة (الجامدة) ولف مغزلي متقلب وإثارات ضوئية وهكذا، وقد تختلف جوهريًّا مستوياتَ الطاقة المنخفضة الناتجة من هذه الإثارات الأولية المختلفة ويتم حسابها في نظرية الاضطراب وتكون الخطوة التقريبية واضحة في التمدد الاضطرابي لنظرية المجال الكمي فتضمنا استعمال أشكال فايمان، وحتى الرتبة الأولى فيعتبر كل منهم مستقلاً، وقد أوضحت الحسابات أن الإثارات الأولية لها خصائص جسيمية تقريبية بحس مفاهيم الكم الجسيمي بالفصول المتقدمة، على وجه خاص فإن لها (تقريبًا) شحنة أو لفًا كميًّا وهي عبارة عن فيرميونات أو بورزونات وأنها تعرف باستقلالية ولها بعض الكتلة الفعالة m_e ومن أجل استقلاليتها التقريبية وخصائصها الديناميكية المؤثرة فقد تم تسميتها أشباه الجسيمات.

---

(1) **Anderson1997,102** حيث يسمى المقدار k بكمية حركة أندرسون في $p = \hbar k$ أجزاء أخرى من هذا الكتاب.

(٢) انظر ما بعد ذلك أسفل.

مكتبة الفكر الجديد

الكتلة المؤثرة m_e، لشبه الجسيم تعتمد على التفاعل وتصاحبه بطاقة E لشبه الجسيم معطاة بمقدار فرق الطاقة بين مستواها والمستوى الأرضي للمادة الجامدة، وأنها ترجع إلى التأثير الجمعي والواضح للكتلة المعاد عياريتها في نظرية المجال الكمي، وكما في نظرية المجال الكمي رغب الفيزيائيون في القول: إن أشباه الجسيمات "مغطاة أو ملموسة" في فيزياء الحالة الجامدة بدا هذا القول السائد له منطق أفضل؛ حيث إن الكتلة الفعالة ترجع إلى التفاعلات داخل المادة الجامدة (ومع هذا فإن هذه النقطة محل مناظرة، وطرفا التناظر هما كمات المجال للمجال الكمي وأشباه الجسيمات لفيزياء الحالة الصلبة المسبب للتناظر الشكلي بين المستوى المفرغ للمجال الكمي والمستوى الأرضي للمادة الجامدة، وبالتالي ظل الجدال حتى سلمت نظرية المجال الكمي بالتفسير الحقيقي الأقوى والذي أوصى في النهاية بما جاء في الفصل السابق).

توجد أنواع مختلفة من أشباه الجسيمات، بعضها تكون مركزية والأخرى غير ذلك، بصفة خاصة تميزت المفاهيم الثلاثة التالية لشبه الجسيم[1]:

١- **<u>حاملات الشحنة الإلكترونية الحرة:</u>** ونتجت من إضافة الإلكترون للمادة الجامدة، التي اكتسبت شحنتها ولفها من الإلكترون ولكن تعتمد كتلها الفعالة على سرعتها، ففي المعدن يختص الإلكترون المضاف في النطاق المملوء جزئيًّا بإلكترونات التكافؤ التوصيلي؛ أي تتوزع كمية حركتها داخل المادة الجامدة، محمولة بالإلكترونات النطاقية

---

(١) انظر: Anderson1997,102-104

مكتبة الفكر الجديد

محدثة إثارة الطاقة المتلاشية، وفي أشباه المواصلات أو العوازل تتطور الدالة الموجية للإلكترون المضاف بطريقة مختلفة، وبعد زمن معين تبقى الحزمة الموجية وتتمركز الحزمة الموجية حول قيمة كمية حركة مركزية k_0 (التي تقابل طاقة الإثارة) ويكون لها عرض قدرة Δk أنها تتمركز في منطقة بحجم ($1/\Delta k$) حول نقطة ما r_0 ، وتحمل هذه الحزمة الموجية تقريبًا شحنة ولف للإكترون، ومن ثم فإنها تتصرف مثل الفيرميون.

٢- **<u>فونونات:</u>** هي مثل كثافة موجية أخرى مثل ماجنونات أو بلازمونات وهذه تنتج من الإثارات الجمعية للأنوية، وتنتج الفونونات من الذبذبات المنخفضة للب الأيون المذكور سابقًا، وهي كثافة موجية موقوفة في مثل التي لا تكتسب أي خصائص ديناميكية من الجسيمات الفيزيائية، وخاصة التي لا تحمل شحنة وليس لها لف وتصبح تقريبًا بوزونات، وتتصرف الفونونات مثل تناغمات الموجات الصوتية (من هنا جاء اسمها)، وفي العديد من الجوامد لا تكون مركزية أو موضعية، ومع هذا فإنها في البلورات قد تكون تقريبًا موضعية عند الشوائب والعيوب.

٣- **<u>أكسيتونات.</u>** تحدث الأكسيتونات في العوازل (تسمح بانتقال الطاقة دون انتقال شحنة كهربية) ويحدث ذلك نتيجة الإثارة الضوئية فإلكترون قلب الذرة الأيونية في البلورة مثلما في GaAs (والتي لها أهمية كبيرة في عملية الاتصالات عن بعد) يحدث له إثارة من مستوى p للأرسينيد(الزرنيخ AS) إلى مستوى s للجاليوم (GA)

مكتبة الفكر الجديد

بشكل عام، ويمكن للإلكترون المثار أن يتحرك في نطاق p خلال البلورة، ونتيجة التفاعل الكولومي فإنه يطرد إلكترونا s للذرات المارة، ومثل هذا الزوج من (الإلكترون-الثغره) يكون حالة ترابط للإلكترون والثغرة محدثًا مركب شبه – جسيم لشحنة (٠) صفرية ذات كتلة فعالة معينة ولها تصرف بوزوني، وقد تتمركز تحت ظروف معينة مثل الشحنات الإلكترونية الحرة والفونونات، والموجات ذات اللف (التي تحدث الحالة المغنطيسية للمادة الجامدة) وأزواج كوبر فوق التوصيلية تعتبر شبية للأكسيتونات.

توجد عدة أنواع أخرى لأشباه الجسيمات التي تصاحب مزيدًا من الاختلاف في المفاهيم ولا يمكن ذكرها هنا، ومع هذا فلكل ذلك خصائص شبه جسيمية تعزى إليها، فبصفة عامة فإن أشباه الجسيمات هي حالة إثارات للمادة الصلبة التي تتصرف تقريبًا؛ مثل الجسيمات حتى لو أنها ليست جسيمات، وقد يضاف مزيد من الملامح شبه الجسيمية لكمية الحركة والشحنة واللف والكتلة الفعالة التي قد تحملها، وأنها لا تتصرف فقط تقريبًا كما لو أنها غير معتمدة على ما بقي من المادة الجامدة، وأنها أيضًا تتصرف في العديد من النواحي باستقلالية تقريبًا لا تعتمد على بعضها البعض، وأنها تتراكب بالطريقة نفسها لتعطى تقريبًا إسهامات خطية للطاقة في المادة الصلبة، وأنها تتصرف بدرجة عالية مثل الفيرمونات أو البوزونات، وأنها تتفاعل كما لو كانت جسيمات، على طول المسارات للمفاهيم الجسيمة السابقة، يمكن تمييز أشباه الجسيمات كالتالي:

مكتبة الفكر الجديد

(QP) أشباه الجسيمات (بتقريب شديد) هى:

(ESQM) تجمعات ذات طاقة E ولف s ، وشحنة q وبعض الكتل الفعالة m ،

(DISC) عدم الاتصالية؛ أي أنها تأتي في صورة كمات .

(PROB) تحدد بالاحتمالية عن طريق معادلة شرورنجر أو الهاميلونيات للمادة الجامدة.

(COLL) التجمعات الإثارية لطاقة الحالة الأرضية للمادة الجامدة.

(INDEP) عدم اعتماد بعضهم على بعض.

(WAVE) في المستويات تتراكب وتتداخل.

(UNKR) غير محدد في كمة الحركة k ولا في الموضع r طبقًا لعلاقة عدم التحديد $\Delta k \Delta r \geq h/2$.

(COMM) قواعد التحويل المعينة لموضوع ما؛ أي محولات للبوزونات وأضدادها للفيرميونات (مواصفات تحويل للمؤثرات المناظرة للمتغيرات).

(NDIST) مميزات عددية فقط، التي تحدث إحصائيات فيرمي أو إحصائيات بوز (معتمدة على اللف).

(CONS) خاضعة لقوانين الحفظ.

هذه القائمة تربط خصائص المفاهيم الجسيمية (QM) و(FQ). تتصرف أشباه الجسيميات مثل جسيميات الميكانيكية الكمية أو كمات المجال

مكتبة الفكر الجديد

غير النسبوي وبعض هؤلاء له شحنة إلكترونية ولف البعض الآخر له شحنة ولف صفري والبعض يكون أنظمة مربوطة بالإثارات، وقد يحدث للعديد من أشباه الجسيميات تمركزًا في مستويات تتطابق مع علاقة هايزنبرج لعدم التحديد : (UNKR) وهي تتناظر تمامًا مع (UNPQ) لميكانيكا الكم (QM) واضعة حدودًا لمقدار عرض كمية الحركة Δk ومنطقة الموضع Δr والتي يوجد فيها أشباه الجسيمات حتى يتم قياسها موضعيًا، ومن ثم ففي نواحٍ عديدة يكونون شبيهي الجسيمات، إن كلمة شبيه (quasi) يرجع تسميتها بوضوح للخاصية (COLL) وتكون أشباه الجسيمات عبارة عن أشياء موجودة مزيفة، وتشبه التي تأتي بوصفها ولكنها حقيقية غير موجودة[1]، وأنها تنشأ من الإثارات المجمعة وهذا يحدث الكتلة الفعالة والتي تكون غير ثابتة (غير معتمدة على التفاعلات الداخلية للمادة الجامدة كما في مثل المجالات الخارجية) وتتبع حقيقة أن الخصائص الكمية الجسيمية (INDED)، (COMM) و(NDIST) هي فقط المحققة تقريبًا.

حيث إن أشباه الجسيمات فقط تتصرف بشكل تقريبي في هذا الطريق، وتؤخذ تفاعلاتها في الحسبان في الخطوة الثانية وأنها تحدث التشتت وتأثيرات الاستقطاب، فعلى سبيل المثال قد يفقد شبه الجسيم المشحون مقدارًا كميًا k من كمية حركته للتذبذبات المركزية أو العكس بالعكس وتكون مثل

---

(١) فى الواقع، للأسباب نفسها يسمون أشباه الجسيمات كمسارات الجسيم فى نموذج مُوت لعام ١٩٢٩ (Motts model) قد يسمى شبه- كلاسيكى، وطبقًا لنموذج مُوت فإن الجسيمات الكمية فى مفهوم (QM) (ميكانيكا الكم) تسبب تتابع القياسات الموضوعة التى تشبه المسارات الكلاسيكية المحددة تمامًا حتى لو لم يكونوا.

مكتبة الفكر الجديد

هذه الطاقة مماثلة لانبعاث الفونون أو امتصاصه، ويمكن وصفه بدلالة المؤثرات المقابلة للتخليق أو الإفناء q_k^+, q_k ، وتوجد عدة تفاعلات ممكنة لهذا النوع وقد أعيد حسابها بوسائل نظرية التشتت لميكانيكا الكم، وقد أحدثت سلسلة من الاضطرابات والتي تناظرت حقيقة في نواحي حساب عناصر المصفوفة -S لتفاعلات المجالات الكمية، وعلى وجه الخصوص النواقل ودوال جرين وأشكال فايمان للعديد من عمليات التشتت الممكنة الموجودة وأنها تتراكب مثل العمليات الافتراضية أو أشكال فايمان لنظرية المجال الكمي، وكما في نظرية المجال الكمي فإن هذه التفاعلات أيضًا تحتوي إسهامات من التخليق والإفناء لشبة الجسيمات الافتراضية. وأن التناظر مع نظرية المجال الكمي آخذ في المزيد، وبالتناظر للفراغ غير الخالي لنظرية المجال الكمي وتأثيراتها على الشحنة والكتلة لكلمات المجال توجد تغذية مرتجعة بين التفاعلات داخل المادة الجامدة ومستواها الأرضي، ويوجد دائمًا تفاعلات بين ذبذبات الداخل (القلب) الأيوني وإلكترونات نطاق التكافؤ للمادة الصلبة التي لا يمكن أخذها في الحسبان في الطريقة التقريبية المخططة سابقًا، وقد أثرت على الفرق بين المستويات المنخفضة الإثارة والمستوى الأرضي للمادة الصلبة كما يلي:

هكذا يجب الاهتمام الكبير بتفاعل الإلكترون – فونون باعتقاد وجوده فعلاً في تعريف إثارة الفونون نفسه كإلكترونات تكون مشتتة وتكون غير معتمدة حقيقة كإلكترونات منفردة ولكن شبه – جسيمات.

المسألة تكون علاقة مثل التي أعيد معايرتها في نظرية المجال فيزيائيًّا فإن أشباه الجسيمات والفونونات التي نراها ليست إطلاقًا بالمثل كالجسيمات

مكتبة الفكر الجديد

"المجردة" والتي تعتقد فيها ببساطة وبخصائصها التجريبية – طاقة وتفاعلات، وهكذا، محتوية مساهمات من سحابة التشوش المحيطة بالجسيمات المجردة[1].

وقد أحدث هذا تأثيرات تعني بأن "التعريف المبدئي" "للإثارة الأولية" لم تعد تحملها، ونتيجة العديد من عمليات التشتت فإن مستويات أشباه الجسيمات ليست مستويات مميزة حقيقية لهاميلتونيات النظام الكلي، وطريقًا واحدًا يعتني بهذه المسألة هو تقريب "إعادة المعايرة"[2] والتي تعود مرة أخرى طبيعية بإعادة طبيعتها في نظرية مجال الكم.

وحتى هذه النقطة، شرح تعريف شبه الجسيم وأساسه ومميزاته والمسائل التكنيكية التي تظهر، وقد فعل ذلك عند بعض المسافات للفلاسفة، وحقيقة فإنها قد تبدو ممتدة إلى حد ما، ومع هذا فمن وجهة نظر الفيزيائيين التكنيكية فإن الشرح السابق يكون بالأحرى ظاهريًا وحقيقيًا وتهمل المسائل التكنيكية، ومع ذلك فلا بد أن أترك المسائل الفيزيائية التي تعطل الوقت الآن وأن آتي في النهاية للأسئلة الفلسفية، وهي بوضوح مرتبطة بوجود شبه – الجسيمات.

---

(1) Anderson1997,116.

فيما يلى ذكر أندرسون أن التناظر انتهى عند تشعيب نظرية المجال الكمى والتى مصادفة لم تحدث عند حساب تفاعلات أشباه-الجسيماتِ التي سماها أندرسون بأشباه الجسيمات المطابقه للشحنات الكهربية الحرة للنوع (١) وليست المذكورة بأعلى كالنوع (٢،٣)، وأنا أطلق عليهم أيضًا أشباه- الجسيمات طبقًا لاستعمال الحد فى فيزياء المادة المكثفة الحالية، وقد تأصل هذا الاستعمال؛ حيث أصبحت الأنواع الثلاثة شائعة بأنها مستقلة تقريبًا ومحكمة وموضعية ونتيجة التأثيرات التجميعية.

(2) Anderson1997,120

مكتبة الفكر الجديد

هل تفترض أشباه الجسيمات للمادة المكثفة فيزيائيًّا أن تكون مثل الجسيمات الافتراضية لأشكال فايمان في نظرية مجال الكم؟ إنها بوضوح ليست كذلك. بالتعارض مع المشكِل السابق فإنها تأتي بخاصتها بظهور كمي (مكمم) حتى لو أنها نتيجة الإثارات الجمعية، وأنها لم تكن فقط نتيجة الطرق الرياضية التقريبية للمادة المكثفة الفيزيائية التي دخلت المسرح أو الحلبة، وقد وضحت حساباتهم تفاصيل بناء نطاق الطاقة للمادة الجامدة التي لم يستطع شرحها تقريب هارتري- فوك إضافة إلى أنها تتنبأ بتفاصيل ترتبط ببناء شحنة المادة الجامدة بالشوائب والعيوب وكل ذلك يمكن التحقق منه تجريبيًّا، وأنها ناجحة بشكل فعال في التنبؤ بالسلوك الشامل ظاهراتيًّا للمادة الجامدة وعلى وجهة الخصوص الحالات المغناطيسية أو الفوق توصيلية، بقدر ما تكون أشباه الجسيمات متموضعة في البلورة بقدر ما توجد بالمفهوم البناء المكاني نفسه لمراكز التشتت دون الذري في الحقل غير النسبوي لطاقة التشتت وتساهم توزيع الشحنات شبه الكلاسيكية في المادة الجامدة بالمفهوم نفسه كما في مربع السعة للدالة الموجية عديدة الجسيم للذرات محدثةً توزيعًا شحنيًّا شبه كلاسيكي (أي عن طريق مبدأ التناظر العام[1]) وهذا حقيقي جزئيًّا للتمركز غير المحدد للرزم الموجية لأشباه الجسيمات المشحونة أو الفونونات التي تتجمع حول الشائبة صانعة هدفًا مركزيًّا لتشتت أشباه الجسيمات المشحونة.

طبقًا للتناظر مع نظرية المجال الكمي فإن أشباه الجسيمات على تساو مع كمات المجال الحقيقية، والتي تخضع لحفظ الطاقة في تعارض مع

---

(١) انظر الفقرات (٤-٣، ٥-٤-٢).

مكتبة الفكر الجديد

خاصية (NCON) لمفهوم الجسيم الافتراضي (VP) وبطريقة أخرى لا يكون لها مفهوم على الإطلاق لتعريف شبه – الجسيمات الافتراضية على مسار أو في سياق (VP) ولكي يكتمل التناظر بين كمات المجال الحقيقي وأشباه الجسيمات.

وفي سياق المناظرة الفلسفية لمذهب الحقيقة العلمية كانت المحاولة لبرهنة معيار هاكينج الحقيقي لحصر أشباه الجسيمات:

"إذا استطعت نثرهم إذن فهم موجودون"[1]، قد ادعت أن أشباه الجسيمات غير موجودة حتى لو أمكن نثرهم (كالرذاذ) وأطلق القول: إنه قد يستعملهم كعلامات، وهلم جرًّا، حتى ولو في البللورات فإنهم أشياء مزيفة، ومع هذا فقد فقدوا هذا المسلك هذه النقطة الحاسمة بأن شبه –الجسيمات هي مجموعات تأثيرات ديناميكية لمكونات المادة الجامدة، في حالة كمومية مستويات الطاقة فإنها تكون موجودة، وهي بالطبع ليست موجودة كأشياء دقيقة مستقلة مطلقة مثل تلك الجسيمات الكلاسيكية المقترحة بأن تكون كذلك، وإني أوافق على أنه بهذا الفهم فإنها تكون أشياء مزيفة ولكنها توجد كتجمعات نسبية مستقلة للطاقة والشحنة واللف (وقد أحب الفيزيائيون في اعتبار ذلك كحوامل لهذه الكميات، ومع هذا فإن هذا يعتبر تقهقرًا مضللاً للميتافيزيقا الكلاسيكية للمادة) ونتيجة للمسائل التكنيكية المذكورة سابقًا فإن التنبؤات الكمومية لطاقة إثارتها الدقيقة قد تكون سيئة، ولكن هذا لا يؤثر في وجودها كمستويات طاقة منفصلة للمادة الجامدة التي قد تكون أحيانًا موضعية.

---

(1) Gelfert2003, against مقابل Hacking 1983,22-25.

مكتبة الفكر الجديد

حقيقة، فإن شبه –الجسيمات– بقدر ما تكون حقيقة بقدر ما تشارك بقيمة عند المخزون المتغير، القيمة المشاركة تكون أيضًا نتيجة التأثير التجميعي (كما تشير النهاية الفعلية)، المسمى (فى اللغة التجارية) التصرف الجمعي لجميع المستثمرين وقد يمتد التناظر، ويمكن أيضًا أن "ينثر" القيمة المشاركة في فهم هاكينج، أي يؤثر في تسعيرها (اقتباسها) عن طريق الشراء أو البيع لأغراض المضاربة، ويمكن لسقوطه الحر أن يضع انهيار الاقتصاد وقد يصنع ارتفاعه المثير (المفاجئ) بعض الازدهار التسويقي، وقد يكون الانهيار وأيضًا الازدهار موضعيًّا؛ أي قد يؤثر فقط في بعض التسويق الموضعي. لكن هل نستطيع استنتاج أن القيمة المشاركة تكون غير موجودة على أراضٍ منفردة أي أنها تكون تأثيرًا جمعيًّا؟ وبوضوح القيم المشاركة وأيضًا شبه – الجسيمات لها حالة منطقية أخرى فى كلمة أخيرة بيجاسوس. بيجاسوس غير موجود في العالم الحقيقي، ولكن فقط في حكايات علم الأساطير القديمة، ولكن توجد أشباه الجسيمات في البلورة الحقيقية؛ مثل القيم المشاركة الموجودة في الاقتصاديات الحقيقية والأسواق، حقيقة فإن كلا المفهومين لهما تعريف جيد في المعنى العرفي حتى لو لم يستطع استخراج سببهما عن طريق التجارب أو الدراسات الاقتصادية، ولكن الشيء نفسه يكون حقيقة غير ملائمة لسبب وجود مسار الإلكترون.

ومن ثم، فالتذرع "بالحقائق المرة" التي تسمح فقط للكيانات الحقيقية حول الأشياء الدقيقة الحقيقية تكون غامضة ووهمية، وإذا كانت الحقيقة المرة أن الإلكترونات موجودة كأشياء دقيقة بطبيعتها الخاصة (أي أنه في المادة بخاصتها)[1] وإذا أخذ هذا كحالة ضد وجود شبه – الجسيمات فتكون الحقائق المرة للفلاسفة على نحو أسوأ جميعها .

---

(١) انظر:

Gelfert2003, against مقابل Hacking 1983,22-25 and 265.

مكتبة الفكر الجديد

٦-٥ أجزاء المادة

لا تزال الخاصية الجسيمية (BOUND) لإحداث نظم ربط محل دراسة أو لم يتم دراستها، طبقًا للنماذج المتكونة الحالية كتكوين المادة للجزئيات والجزيئات للذرات والذرات للإلكترونات والأنوية، والأنوية للنيوكليونات (نويديدات) أي البروتونات والنيوترونات وتكوين البروتونات والنيوترونات من الكواركات والجليونات، ويكون هذا الفهم لزيادة المحتويات في تكوين نظم ربط تتغير أيضًا مع الانتقال من ميكانيكا الكلاسيكية إلى نظريات الكم، فقد أحدث مفهوم ميكانيكا الكم الجسيمية (QM) حسابًا عموميًّا لمكونات المادة (MC) والمذكورة في (فقرة ٦-٥-١) وهذا استناد إلى قوانين الحفظ وقواعد الجمع والخصائص الديناميكية للمفاهيم الجسيمية المدروسة في الفصل السابق، والتي جعلتها في غير إشكالية باعتبار أن المادة مكونة من الذارت وهي بدورها من الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، حتى لو أن هذه المكونات دون الذرية تكون غير مميزة فإن قواعد جمع كتلها وطاقتها ولفها وشحنتها وكمية حركتها تعطيها تعريفًا جيدًا ومعالم واضحة ومحتوى إجرائيًّا قابلاً للاختبار[١].

ولكن ماذا عن الكواركات؟ طبقًا للنموذج المعياري الحالي في الفيزياء الجسيمية، فإن النيوكليونات (بروتونات ونيوترونات) اقترح تركيبهم من الكواركات والجلونات، وبمقارنة نماذج أعلى مستوى تكوين للمادة فإن النموذج الكواركي يأخذ عدة ملامح تأملية، فحتى ظهور النموذج الكواركي فإن الإلكترون يكون مصحوبًا بوحدة صغيرة من الشحنة الكهربية، وقد اقترح

---

(١) انظر الفقرة (٦-٥-١) والملحق (هـ).

مكتبة الفكر الجديد

للكواركات أن تحمل شحنات كسرية تساوي (1/3±) أو (2/3±) من هذه الوحدات الشحنية، بالنسبة إلى غير شبيه الإلكترون لم يعدوا من الجسيمات الحرة فى مستويات غير مقيدة، وأنهم لم يتمركزوا (موضعيًّا) كجسيمات مشحونة (أو تجمعات كتلية وشحنية) في المفهوم الإجرائي للجُسيم (OP) ولكنهم يعتبرون كمات مجال حقيقي تختص بالحالات الداخلية والخارجية لعملية التشتت دون الذرية وما يقابلها من عناصر المصفوفة S- ومن ثم فإن قابلية تطبيق المفاهيم الجسيمية لهذا الفصل للكواركات تحتاج إلى تحقيق ومزيد من الفحص(١).

٦-٥-١ تعميم مكونات المادة

دعنا نبدأ من المذهب الذري الكلاسيكي ونظم ربط الميكانيكا الكلاسيكية قبل أن نتقدم في طريق نظم ربط الميكانيكا الكمية، وفي المعنى المعتاد للمذهب الذري يفترض أن جميع الأشياء المادية تتكون من أصغر المكونات غير المرئية. يستطيع المذهب الذري القديم الرجوع إلى ديموقريطس وأبيقور؛ ففي بداية العلوم الحديثة التي أخذت عن طريق جيلبرت وجاليليو وأخيرًا المذهب الذري والذي تم الدفاع عنه بواسطة بويل ونيوتين ولوك وبوسكوفيك وحتى أواخر القرن التاسع عشر فإن الذرات لم تكن في متناول الطرق التجريبية، وكانت معظم المسائل محل خلاف بالنسبة إلى موضوعات ومناظرات الميتافيزيقا مثلما كان في مناظرة ليبنتس – كلارك أو خلال القرنين التاليين في مواجهة ماخ للمذهب الذري لبولتزمان

---

(١) انظر الفقرة (٦-٥-٢) والملحق (هـ).

مكتبة الفكر الجديد

وبلانك يتضمن المذهب الذري المعتاد على افتراضين؛ حيث يتميز بدقة أحدهما عن الآخر، ويكون للأول تصور بأن المادة تتكون من أجزاء ميكروسكوبية مفصولة وهذا أحدث نظرية لبناء مكونات المادة، والافتراض الثاني هو أنه يوجد مكونات جزئية جوهرية والتي تكون ذرات في فهم موضوع بسيط (وهي كلمة إغريقية) ولكن البحث عن المكتشفات الموضوعية للفيزياء لا تزيد عن المبدأ المنظم لتشكيل النظرية ونحن هنا نعني بالافتراض الأول فقط. منذ نشأت الفلسفة القديمة للطبيعة وكان التفكير مستمرًا أو دون إمكانية الفهم للذرة، وتضمن المد المكاني وعدم قابلية فهم الديناميكا المتضمنة، وكان يجب على نموذج مكون المادة أن يشرح كلتا الخاصتين، فمنذ القرن الثامن عشر شرحت جميع النماذج الذرية للمادة التمدد المكاني للمادة بدلالة الديناميكا الفيزيائية، لقد طرح كانت ووسكوفيت أسس هذا عن طريق شرح البناء الديناميكي للمادة بدلالة قوى التجاذب والتنافر، وهذه القوى تعمل بين أجزاء المادة بمثل طريقة المكونات شبه النقطية للمادة التي قد تكون النظام المربوط القوي[1]، وتصنع هذه الفكرة وجهة نظر الميكانيكا الكلاسيكية بدقة كما يلي:

إن الحالة المكانية (الفراغية) للنظام الكلاسيكي للجسيمات N . وهي حاصل للضرب الكارتيزي لـ N من أمكنة أو فراغات حالة الجسيم الواحد والفراغ الطوري R^{6N} ودالة الحالة للنظام هي المسار المعبر $\varphi : R \rightarrow R^{6N}$.

---

(١) ما يدعو للعجب هو أن هذه الفكرة لم يكن لها أي مؤثرات على السجال الذي دار في القرن السابع عشر بشأن المذهب الذرى. انظر:

Kant1781/87,A434-437/B462-465, Falkenburg2000,227-239.

مكتبة الفكر الجديد

وقد ثبت بغير غموض عن طريق المعادلات الديناميكية للجسيمات N ولكل لحظة t فإن $3N$ لها محاور موضعية x_k^i ويكون للمقدار ٣N من كميات الحركة لـ p_k^i حيث (i=1,...N; k=1,2,3)

$$\varphi: t \text{ a } (x_1^1(t), \ldots, p_3^N(t)). \qquad (6.12)$$

الحالة الجسمية N تحلل إلى حالات الجسيم الواحد، ويتم الحصول عليها عن طريق إسقاط المسار $\varphi(t)$ إلى حالات الجسيم الواحد، في الزمان المكاني العادي تتفكك الحالات الجسيمي الواحد أي أنها لا تتقطع.

الأمثلة العيارية للأنظمة الكلاسيكية المربوطة هي النظام الشمسي والنموذج الذري لرذرفورد، والقوى الرابطة الخاصة هي الجاذبية وقوى كولوم. إن الامتداد المكاني للنظام المربوط يكون نهائيًا إذا كانت مسارات الجسيم الواحد دورية، وهي تكون الحجم المحيط بها، وإضافة إلى أن وصف النظام المربوط يحتوي على قواعد الجمع للكميات الديناميكية المحافظة للنظام ومكوناته. على وجه الخصوص كمية الحركة p للنظام الناتج من كميات الحركة الجسيمية لـ N هي p^i طبقًا $P=\sum_i p_i$ والكتلة M والشحنة Q لمجموع النظم المكون من جميع الكتل الجسيمية المنفردة والشحنات طبقًا لـ : $M= \sum_i M^i$ حيث (i=1,...N) و $Q=\sum_i Q^i$.

أيضًا جسيمات ميكانيكا الكم في المفهوم الجسيمي (QM) تكون نظمًا مقيده، ولكن توصيف الذرات تم وضع الجهد الكولومي الكلاسيكي للنواة الذرية في معادلة شرودنجر للدالة الموجية للإلكترون، وقد أحدث حل الجسيم الواحد بميكانيكا الكم لذرة الهيدروجين نقله، فكانت ميكانيكا الكم للنظام المقيد

مكتبة الفكر الجديد

عديدة الجسيمات متطلبات فقط لأغراض الفيزياء الذرية لما بعد الهيدروجين (بدءًا بالهليوم) والفيزياء الجزيئية والفيزياء النووية وفيزياء المادة المكثفة.

إن الحالة المكانية لميكانيكا كم النظام الجسيمي N هي حاصل ضرب ممتد N للجسيم الواحد لفراغات هيلبرت H^i و فراغ هلبرت هو H^N :

$$H^N = H^1 \otimes H^2 \otimes .... \otimes H^N$$

دالة الحالة المقابلة (مضادة التماثل كليًا) هي الدالة الموجية Φ^N ميكانيكية الكم الجسيمية N، ويكون الحصول عليها من حالات الجسيم الواحد $\in$ $\Phi_{ki}^{(i)}$ H^i عن طريق حاصل الضرب المكون لها والمتضاد التماثل لغير الميونات) أو المتماثل (للبوزونات).

$$(6.13)\quad \phi^N = \sum_{k_1.k_2.....k_n} C_{k_1.k_2,...,k_N} \phi_{k_1}^{(1)} \otimes \phi_{k_2}^{(2)} \otimes ... \otimes \phi_{k_N}^{(N)} \pm permutations.$$

ويتم توضيح الامتداد المكاني للنظام المربوط من كثافة الاحتمال $|\Phi^N|^2(r)$ ويسمح مبدأ التقابل العام الذي تم مناقشته في الفقرتين السابقتين (٤-٣، ٤-٥) لتفسير كثافة الاحتمال هذا كتوزيع شحني شبه كلاسيكي، ونتيجة لـ(ضد) التماثلية فإن Φ^N لن تتحلل إلى حالات جسيم واحدة معرفة جيدًا، وأن مكونات النظام N لجسيم ميكانيكا الكم معقد أو متشابك، وأنه لا يمكن تقسيمه زمانيًا – مكانيًا، وأنهم يميزون عدديًا فقط.

الآن تتميز الفيرميونات والبوزونات، فالفيرميونات لها لف مقداره أنصاف العدد الصحيح مثل الإلكترون والبروتون والنيوترون، ويكون للبوزونات وهي جسيمات ذات لف مساو لمضاعفات العدد الصحيح مثل الفوتون وجسيم α – أو ذرة الهليوم غير المؤينة، وطبقًا لمبدأ باولى

مكتبة الفكر الجديد

للاستبعاد فإن حالات الفيرميونات الديناميكية تتميز بدلالة أعدادها الكمية ولهذا السبب يمكن تعريف حالات الجسيم الواحد الديناميكية لنظام ميكانيكا الكم المربوط في فراغ فوك، وأنها ببساطة حالات أو مستويات مميزة للمعامل الرقمي الإشغالي[١]، وبالنسبة إلى البوزونات فهذه ليست حالتها، والعديد منها يحتل المستوى الكمي نفسه محدثًا سلوكًا تجميعيًّا اتساقيًّا كما في ضوء الليزر أو في تكثيف بوز – إينشتين، وأن الفوتونات وعددًا من البوزونات الأخرى لا تكون نظمًا مربوطة، ومع ذلك توجد نظم مربوطة للبوزونات (بعضها) على سبيل المثال من فروض ديناميكا الكم اللونية لنظم الجليونات المربوطة وهي الجسيمات التي تحدث القوى الرابطة بين الكواركات، إضافة إلى أي نظام ميكانيكي كمي مربوط يتكون من اثنين من الفيرميونات ليكون البوزون[٢] ومن ثم فإن تصرف السلوك الإحصائي المختلف للفيرميونات والبوزونات لا يحدث تميزًا كبيرًا بدلالة مكونات المادة وتفاعلات الكمات[٣].

لكي نعرف الجسيمات "منفردة" والتي تخص نظامًا ميكانيكيًّا كميًّا مقيدًا (أو نظامًا معقدًا بصفة عامة) يجب تحطيم عدم الترابط (بفك التقارن) أو فك تشابك النظام عن طريق حصر أحد أجزائه وهذا ليس حقيقيًّا فقط لعلاقات EPR المشهورة في نظام الفوتونين المتشابكين (γ –٢فوتون) ولكن أيضًا

---

(١) انظر الفقرة ٦-٤-٤.

(٢) هذه حقيقة خاصة لإكسينونات قد تكون موجودة فى الجوامد.

(٣) لقد جاء (Redhead1988,15-16) بعد حجج مع وضد الأخذ بالفيروسات والبوزونات كعلامات تمييز لمكونات المادة أو تفاعلاتها.

مكتبة الفكر الجديد

بالنسبة إلى أنظمة ميكانيكا الكم المقيدة، لا توجد قياسات غير محطمة لوضع الإلكترون في الذرة، فقط عند مستوى الذرات ككل التى لها إمكانية لتمركز أجزاء منفردة للمادة عند سطح البلورات بواسطة وسيلة الميكروسكوب الإلكترونى، وما يشاهد هنا هو عوده للتوزيع الشحني شبه الكلاسيكي والتي يحدثها النظام عديد الجسيمات الميكانيكي الكمي في المحيط الماكروسكوبى.

ومع هذا، يخضع النظام المقيد الميكانيكي الكمي لقوانين الحفظ مثل ما في النظام المقيد الكلاسيكي، وأن كمياتها المحفوظة هي الطاقة وكمية الحركة وكمية الحركة الزاوية واللف والشحنة للنظام المقيد ومكونات أجزائه، ويحدث قواعد الجمع لقيمها المتتابعة للذرة ومكونات أجزائها، وتحدث هذه القواعد الجمعية قواعد فيزيائية أخرى مثل علاقة أينشتين[1] للكتلة – والطاقة $E= mc^2$، وعلى وجه الخصوص تربط قواعد الجمع التالية لكميات الحركة P، p^i والكتلة M) m^i وطاقة الربط E_B والشحنة الكهربية Q، Q^i للذارة أو النواة الذرية وأجزاء مكوناتها n (i=1,...n):

$$p^i, P = \sum \qquad (6.14)$$

$$\frac{1}{c^2} E_B, \text{Mi} - M = \sum \qquad (6.15)$$

$$Q^i . \sum Q = \qquad (6.16)$$

النظم المربوطة الكلاسيكية والنظم الكمية المترابطة لها الخصائص المشتركة التالية، البناء الزمني المكاني للنظام المربوط يوضح بدلالة ديناميكية مكوناته، يرتبط النظام وأجزاء مكوناته بقوانين الحفظ المعرفة جيدًا

---

(1) Einstein et al.1935

مكتبة الفكر الجديد

وبقواعد الجمع التى لها مكون عملي معرف جيدًا وأنها محققة بتعريف جيد بعلاقات الجزء –والكل للنماذج المكونة للمادة، وأنها في الفيزياء الذرية والنووية تعتمد من حيث المبدأ على الكتلة – الطاقة والشحنة التي تكون محفوظة طبقًا للصيغتين (6.15) (6.16) [1] حتى لو أن الجسيمات الكمية تفتقد انفراديًا للزمان– المكاني، هذه العلاقه الجزئيه– الكلية معرفة جيدًا ومختبرة، إضافه إلى أنه في النموذج الكواركي تصبح قاعدة جمع كمية الحركة حاسمة، ولكن قبل الرجوع لهذا، دعنا نعبر عن خصائص مكونات المادة بدلالة مفهوم جسيمي آخر عام:

(Mc) مكونات المادة؛ هي:

(MESQ) تجميع الكتلة m والطاقة E واللف s والشحنة q_i.

(BOUND) قابل لتكوين نظم مربوطة.

(SUM) موضوع قواعد الجمع التي تستنتج من قوانين الحفظ للكتلة واللف وعموم الشحنات وكمية الحركة.

(PART) أجزاء ديناميكية للامتداد الزماني – المكاني ككل.

لقد احتوى الطريق لنموذج الكوارك مثل قواعد الجمع (SUM) وعلاقاتها بمجموعات التماثل للتفاعلات القوية والكهروضعيفة، طبقت أيضًا قوانين الحفظ الدقيقة على كمية الحركة الزاوية واللف وهي مصاحبة مع تمثيل مجموعات التماثل O(3) وSU(2) على التوالي، وقواعد الجمع المقابلة

---

(١) إنه بالإمكان التعبير عن هذا فى الحدود الخاصة بالمناطق المجرد لمجموع الجزاء الديناميكية غير المتصلة للمادة أنظر الملحق (هـ).

مكتبة الفكر الجديد

تنشأ من جبر الميكانيكا الكمية لكمية الحركة الزاوية، فقد عرف هايزنبرج في عام ١٩٣٢ قواعد الجمع الجبري التناظري فيما يسمى بالأيزوسبين (نظير اللف)[١] وقد فهم نظير اللف كتماثل مصاحب مع عدم الاعتماد على شحنة التفاعلات القوية للبروتون والنيوترون، وهذا كان أول تماثل ديناميكي للجسيمات دون الذرية على التناقض مع التماثلات الحركية لمجموعة بوانكاريه.

٦-٥-٢ نموذج الكوارك

أخيرًا، صاحبت التماثلات الديناميكية أو التماثلات الداخلية مع القياس اللا متغير لنظريات المجال الكمي[٢]، والآن لها علاقة بعموم الشحنات نكهة ولون للنموذج المعياري الساري لفيزياء الجسيمات، وهذا بدوره عاد وتصاحب مع مجموعة التماثل U (1) × SU (2) × SU (3) وانبنى على نظريات المجال الكمي لتفاعلات الكهروضعيفة والتفاعلات القوية، نظرية سلام – وينبرج (ديناميكية النكهة الكمية) والديناميكا الكمية اللونية[٣] الآن

---

(١) انظر Pais 1986,423-425

(٢) يشرح (Lyer2004) عن الذى أهمله من كتاب فيزياء الجسيمات.

(٣) يشرح نظرية Salam-Weinber بالتركيب التماثلى المعقد، ولكى يتم شرح الكتل غير الصغيرة للكوارك والليبتون فقد تم تكسير المفهوم التماثلى والمتعلقة ببوزونات الهيجز، ومع هذا فإن وجود بوزونات الهيجر لم تؤكد عمليات حتى يومنا هذا (حتى تأليف الكتاب هذا- تعليق من المترجم).

ملحوظة مهمة: تم التأكد من الكشف عن البوزونات هيجز- فى منتصف عام ٢٠١٢ فى المركز الأوروبى لبحوث النووية بجنيف CERN وساهم فى ذلك آلاف الفيزيائيين والرياضيين من مختلف أنحاء العالم.

مكتبة الفكر الجديد

تصاحبت التفاعلات الكهروضعيفة للكوراركات مع نكهة الشحنة المعممة، بالإضافة إلى أنه افترض أن كلا من النكهات فوق وتحت وغريب ومألوف وقاع وقمة أتت في ثلاثة ألوان، وفى تطابق مع تجميعة الخصائص الديناميكية (MESQ) للمفهوم الجسيمي السابق (MC)، لقد عزا النموذج المعياري للكواركات ما يلي من الكتل واللف والشحنات:

الكتل : m_f (حيث f هي الست نكهات, $f=u,d,s,c,b,t$) .

اللف: $s = 1/2$

الشحنات: (الشحنه الكهربيه) $q_e \in \{\pm 1/3, \pm 2/3\}$.

النكهة: $q_f \in \{u, d, s, c, b, t\}$.

اللون: $q_c \in \{red, blue, green\}$.

لقد ظهر نموذج الكوارك خطوة خطوة، وفي كل مراحله المختلفة كان يأتي لتحقيق مزيد ومزيد من المعايير الجسيمية، ومع ذلك بالمقارنة للمستوى العالي للنماذج المكونة للمادة فإن النموذج الكواركي احتفظ ببعض الملامح الخاصة حتى من هذا.

لقد ظهرت أول نسخة في عام ١٩٦٩، وقد صاحبت الكواركات عرضًا يتعذر تبسيطه لتماثلية SU(3) لنظرية مجالي كمى غير معروفة للتفاعلات القوية (تم التعبير عنها في النموذج المعياري الساري وينبنى الهادرون SU(3) فى نموذج الكوارك الخاص لعام ١٩٦٤ على النكهات الثلاث الخاصة بتفاعلات الكهروضعيفة؛ أي على الكوارك العلوي والسفلي والغريب وليس على التماثلية اللونية SU(3) للتفاعلات القوية) ففي السنين

مكتبة الفكر الجديد

السابقة كانت هذه المجموعة التماثلية ناجحة جدًا في تطبيق الهادرونات، فقد شرحت الانبثاث من حظيرة الجسيمات التي ظهرت في الخمسينيات من القرن العشرين والبدايات الأولى للستينيات باستحضار ترتيب تصنيفي أو تنظيمي لعدد وافر من أنواع المسارات الجسيمية وأحداث التشتت التي وجدت في التجارب وفي النتائج المرصودة للأشعة الكونية[1] والأعداد المتزايدة من الجسيمات الثقيلة (الهادرونات) وتجميع الخصائص الديناميكية لها تعود وتعكس عرض البناء الذي يقابل تمثيل مجموعة التماثل SU(3). في عام ١٩٦١، صنفت الهادرونات التي عرفت خلال ١٩٦٠ طبقًا للتعدد المقابل لتمثيل التماثل SU(3) للأعداد الكمية المحفوظة مثل نظير اللف (أيزوسبين) ودرجة الغرابة، وقد خدمت قوانين الحفظ المقابلة وقواعد الجمع لنظير اللف والقيم الكمية الآخرى في تحليل المسارات الجسيمية وأحداث التشتت الناتجة من الأشعة الكونية أو في المعجلات الجسمية.

بمجرد أن تصاحبت التماثلية SU(3) مع محاولة شرح التعددية الهادرونية فقد أحدث التصنيف نموذج الكوارك عام ١٩٦٤، وقد افترض أن التعددية هذه ناتجة من تركيب الكواركات متشابهة اللف والندية والكتلة نفسها تقريبًا واختلاف الشحنة الكهربية (الكسرية)؛ أي أن أنواع الهادرونات التي وجدت في تحليل المسارات الجسيمية وأحداث التشتت التي فسرت بمدلولات النموذج التقريبي لتمثيلات معينة لـ SU(3) القابلة للاختزال، لقد شرح نموذج الكوارك المبكر هذا التماثل بدلالة الثلاثة كواركات التي تقابل تمثيلات

---

(١) تم الشرح هذا عن طريق التوحيد (**Friedman1974**) بالأحرى عن طريق النهج الاستنتاجي، وقد خططت طرق القياس في (الفقرة ٣-٣-٣).

مكتبة الفكر الجديد

SU(3) غير القابلة للاختزال، ومن ثم ففي نموذج الكوارك المبكر جزء- من كل للعلاقة الكلية بين الكواركأت والهادرونات المبنية فقط على فصل التمثيل غير قابل للاختزال والقابل للاختزال للمجموعة المتماثلة. إن الأجزاء المكونة وكل المكون منها يتصاحب مع تمثيلات SU(3) غير القابلة للاختزال والقابلة للاختزال على الترتيب، ومن ثم فى ذلك الوقت اعتبرت الكواركات فقط جسيمات في مفهوم مبدأ المجموعة النظرية (GT)، وكانت قاعدة عملهم فقط هي قوانين الحفظ (CONS) وما يقابلها من قواعد الجمع (SUM) لبعض الشحنات العامة، وما هو أكثر فقد عزوا تلك الخصائص الديناميكية الفردية كشحنات كهربية كسرية، وبالتالي على أساس التماثيلية فقط فإن نموذج الكوارك لم يكن مقبولاً. وافتقرت المجموعة الدقيقة للمفهوم النظري للكوارك لأي أساس إجرائي بمعناه في المفهوم الإجرائي للجُسيم (OP)، ولم يوجد قياس لمثل هذه الجسيمات.

لقد سجل أول حدث تجريبي لإثبات وجود تركيب شبة نقطي للنيوكليون في عام ١٩٦٨، وكان الأساس النظري المبني عليه هذه المشاهدة هو سلسلة النماذج شبه النقطية للتشتت وعوامل التشكل في المجال غير النسبوي والنسبوي المشروح في الفصل الرابع (فقرة ٤-٣، ٤-٤) فقط اعتمدت الدوال البنائية الكهرومغناطسية ($W_{1,2}(q^2,\nu)$) لتشتت عميق غير المرن للإلكترون- نيوكليون (التي لها علاقة بعوامل التشكل الكهرومغناطيسي للبروتون أو النيوترون) اعتمدت على قيمتين: النقل الرباعي لكمية الحركة (q) أو مربعها) وما يرتبط بها من طاقة منقولة لها ν ، وهذه تعبر عن المعرفة التجريبية التي لها علاقة بالموضوع في عام ١٩٦٨

مكتبة الفكر الجديد

وقد أوضحت أن البناء الدالي للنيوكليون لا يعتمد على القيمتين باستقلال ولكن يعتمد فقط على نسبتهما وقد أوضحت الدوال البنائية المقاسة قياسًا لاتغيري (اللا تغير الخاضع لقياس الطاقة) في تناظر أمامي مستقيم لتشتت رذرفورد[1].

لقد طور بجوركن وفايمان في عام ١٩٦٩ النموذج البارتوني للنيوكليون حتى يمكنها شرح النتائج المعملية، وأخيرًا كان هناك مزيد من الإضافة لنموذج الكوارك- بارتون الذي يحدد مكونات النيوكليون شبه النقطي التي أوجدت في عام ١٩٦٨ مع كواركات نموذج عام ١٩٦٤ وطبقًا لكلا النموذجين فإن الهادرونات تتكون من اثنين إلى ثلاثة كواركات، فالميزونات (وهي الهادرونات ذات الكتلة الأقل بالمقارنة لكتلة النيوكليون) تتكون من كوادرك وضد الكوارك، أما الباريونات (وهي الهادرونات ذات الكتلة التي لا تقل الواحدة منها عن كتلة النيوكليون) تتكون من ثلاثة كواركات، ولكل هادرون تكون مكوناتها الكواركية مجموعة المضاعفات العددية لشحناتها الكسرية، والهادرون المألوف باتساع هو النيوكليون أي المكون للنواة الذرية (سواء بروتون أو نيوترون المتحد من مفهوم نظير اللف)، وأنواع الهادرونات الأخرى إما موجودة في الأشعة الكونية أو مولدة في تجارب التشتت في فيزياء الطاقة العالية، وجاء اختراق النموذج العياري الساري في عام ١٩٧٤ عندما تم اكتشاف الجسيم الرنيني وحصره للدالة

---

(1) Bloom et al. 1969, Breidenbach et al.1969,
كلا المطبوعتين فى (Cahn and Goldhaber1989) وأحد الملامح الفينوموفولوجية (الظاهراتية) لمساحة المقطع المقاس كان زاوية تشتت كبيرة فى تناظر دقيق مع التشتت الخلفى المكتشف فى معمل رذرفورد.

مكتبة الفكر الجديد

(J/Ψ)، وحتى هذه فقد أرجع حفظ الكمية لجسيم فتنة؛ حيث تم التنبؤ بها كنكهة كوارك رابعة في امتداد نموذج الكوارك[١].

في ظل عدم استطاعة هايزنبرج التوافق على مفهوم نموذج الكوارك في عام ١٩٧٦ حتى ولو أنه فتح طريقًا حاسمًا لذلك بوضع نظير اللف كأول حركة ديناميكية أو تماثل داخلي، فقد فسر المقياس اللا متغير للدوال البنائية للنيوكليون بدلالة مجرد تماثل آخر للجسيمات الأولية (أو كل نظرية مجال متقبلة في مجال يبحث فيه) ففي بحثه الشهير عن ماهية الجسيمات الأولية؟ انتقد النظرة البارزة فى علاقة جزء- الكل، الذى أكد تضاد البرهان الثاني التالي "لكانط" أنه في التحليل الأخير يظل نموذج الكوارك مبنيًا على تفسير علاقة جزء- الكل في الحدود المكانية، وقد ناقش تلك الرؤية الإشكالية لسببين، الأول عدم تطبيق مثل تلك الحدود البديهية على الجسيمات دون الذرية والثاني ادعائه بوجوب أن يكون بالإمكان تحليل النظام المركب إلى الأجزاء المكونة ذات كتلة سكون كبيرة جدًا بالمقارنة للطاقة اللازمة لتحلل النظام[٢]. كان اعتراضه الأول غير مقنع حقيقة، فقد أهمل البناء الديناميكي للنماذج المكونة للفيزياء، كما في أي نموذج آخر لنظام مربوط في نموذج الكوارك تكون علاقة جزء- الكل مفهومة بدلالة الكميات الديناميكية وقواعد الجمع.

وكان اعتراضه الثاني أكثر جدية، فقد تنبأت نظرية الكم النسبوية بتخليق الجسيمات (أو كمات المجال الحقيقي) من الطاقة المنتقلة لتجربة

---

(١) انظر: Riordan1987,210 and294-321, Pickering1984,184 and 253-279.

(2) Heisenberg 1976,5.

مكتبة الفكر الجديد

التشتت. إن البروتونات لها كتلة سكون حوالي واحد جيجا إلكترون فولت (1 GeV) ولكن الطاقة المنتقلة في التشتت غير المرن العميق لليبتون – مع النيوكليون تكون مطابقة لرتبة (100 GeV)، ففي التجارب التي تقيس دوال البناء النيوكليوني فإن الطاقة المنتقلة تحدث رذاذًا هادرونيًّا أي تنتج العديد من الجسيمات التي تكون أثقل بكثير من البروتون[1] وهكذا في تجارب التشتت والتي أعطت نموذج البارتون للبروتون (أو النيوترون) لم تكن تتحلل إلى مكونات جزئيات معدودة، على الأصح خلقت جسيمات جديدة وخرجت منها ولا تعتبر كمكوناتها. ومن ثم، فقد ظل اعتراض هايزنبرج مرتبطًا بفقد القواعد العملية لمفهوم الشحنات الكسرية.

إن حل المشكلة قبلت الآن بصفة عامة في فروض القيد، فالفروض الظاهراتية التي تم التوصية بها أولاً على الخلفية النظرية، وأنها ترتبط بخاصية ديناميكية اللون والتي تعزى إلى الكواركات كرقم كمي إضافي لبرهان أن مبدأ باولى للاستبعاد بطريقة أخرى منتهك، وطبقًا لهذا فإن في نموذج الكوارك يأتي لكل نكهة كواركية ثلاثة ألوان. وهذا الأخير يكون حدوث الشحنات العامة للتفاعلات القوية باسم "الكم الديناميكي اللوني"، ومع هذا، فإن مستويات ربط الكواركات تأتي فقط في انفراد طبقًا لنموذج الكوارك والتركيب الظاهري لمضاعفات الهادرون، لذلك فلكي نوضح عدم وجود الكواركات الحرة أو غير المربوطة فقط افترض أنه لا توجد حالات كواركية م.ا عدا حالات "لا لونية" (فردية) تكون مستقرة ويكون الجهد $V(r)$ هو جهد تفاعلات الكوارك موصوفة ظاهراتيًّا عن طريق المصطلح التالي[2]:

---

(١) إن طاقة هذا الهادرون الرذاذى هو أحد كميات حدث التشتت الذى يتأسس قياس مساحة المقطع التفاضلى.

(٢) انظر: **Perkins1987,20**، α_s هى ثابت التقارن للتفاعلات القوية ، **k** هو ثابت.

مكتبة الفكر الجديد

$$-V(r) = -\frac{4}{3}\frac{\alpha s}{r} + kr \qquad (6.17)$$

حيث يكون الحد الأول فى الطرف الأيمن هو حد شبيه – الكولوم (السائد عند مسافات قصيرة) ويعبر الحد الثاني عن ثابت القوة (السائد عند المسافات الأكبر) طبقًا للصيغة (6.17) فإن الكواركات تكون غير متشابكة داخل النيوكليون؛ أي في حالاتها المربوطة، ومن ثم فقد أوصت افتراضات القيد أن للكواركات السلوك الديناميكي المتناقض التالي: يكون لها تصرف تقاربي حرّ في الحالات المقيدة بينما تربطها معًا الجهد V(r) أو طاقتها الرابطة، تزداد بزيادة المسافة r [1]. ولكن بقي استنتاج حاسم للفجوات بين الكواركات والنيوكليونات، وما زالت في حالة نقاش وجدال ما إذا كان قيد الكوارك حقيقيًا يفهم من كم الديناميكا اللونية، وحتى يومنا هذا لم يتم توضيح كيفية حدوث قيد الكوارك ديناميكيًا فى الأنظمة المربوطة.

لقد أخذ افتراض القيد قدرة تفسيرية كبيرة، فقد شرح الأحداث المتدفقة (جيت) المميزة؛ أي أحداث التشتت الفردي ذات حزمتين أو أكثر من المسارات الجسمية والتي تشبه النفاثات وتتعلق بالرذاذ الهادروني ويشرحون كالتالي: نتيجة النوع الاستثنائي للقوة التي تحدث القيد، فإن مسافة الكواركات المربوطة تزداد بزيادة طاقة حالاتها، لذلك، بزيادة طاقة تشتت تجربة التصادم فإن احتمالية الحدث المتتابع التالي يزداد، ويتخلق حالة الكوارك–ضد الكوارك بإزاحة داخلية كبيرة، وتكون طاقة الحالة من الكبر بحيث يمكن تخليق زوج من الكوارك وضد الكوارك. ويعاد ارتباط الكوارك الأخير مع

---

(١) فى عام ٢٠٠٤ نال كل من **D.J.Groos, H.d.Politzer and F.Wilzeek** فى تطوير الأفكار الأساسية للديناميكا اللونية الكمية كنظرية تتمتع بحرية مقاربة.

مكتبة الفكر الجديد

ضد الكوارك المتكون والعكس بالعكس، يحدث حالتين جديدتين مقيدتين ذات طاقة منخفضة، وهذه تظهر كاثنين من الميزونات غير المستقرة آتية من الحالة المتكونة للكوارك والكوارك المضاد مضمحلة إلى اثنين منفصلين مكانيًا من الرذاذ الهادروني الذي يركز بحده ويوجه في اتجاهين متضادين[1]. من التحليل السببي للمسارات المنفردة صانعة كل رذاذة أو نفاثة فإن نكهات الكوارك لكل مثل هذا القطب للحالة الابتدائية للكوارك وضد الكوارك يمكن تعريفها أحيانًا على نحو غير ملتبس، في هذه الحالة كل أنماط الاضمحلال الممكنة لجميع الحالات الممكنة من الكوارك وضد الكوارك عدا الذي يمكن استبعاده على نحو له مغزى، وبالتالي فالنوع المتبقي للعلمية يجب أن يكون هو الذي يحدث فعليًا ويسبب الحدث النفاث المنفرد المشاهد. بعد مضي عدة سنوات على هذا الطريق أعلن حدث تجريبي لكوارك القمة ليكتمل بذلك تجريبيًا نموذج الكوارك[2].

فى الواقع، قد يعتبر التحليل السببي لمثل هذا الحدث النفاث (جيت) على نحو غير ملتبس كمشهد في حس عام مذكور في الفصل الثاني (فقرة 2.5) وهذا الحدث يكون في حالة التباس إذا وإذا فقط اتضح أنها لا ترتبط بالخلفية أو الضوضاء التي تتواجد حول أحداث بعض الأنواع

---

(١) تنتج الأحداث ثلاثية الجسيمات الثانوية من عمليات مشابهة، وهنا فى تناظر مع أشعة الفرملة (bremstrahlung) في الديناميكا الكهربية الكمية يفترض تأثير رتبى عال إضافى للديناميكا اللونية الكمية، يسبب إنتاج بعض الحالة الجليونية التى تضمحل إلى رذاذ هادرونى ثالث أو نفاث.

(2) Abe et al.1995, Abachi et al.1995.

انظر أيضًا:

Liss et al.1977, Perkins2000,134-138.

مكتبة الفكر الجديد

الأخرى، (لا يوجد العديد من مثل هذه الأحداث التي تكون لها مغزى ولكن هذا لا يذكر إلا أن النقطة الرئيسة لمثل هذه الأحداث في إعادة تكرارها).

بالنسبة فقط إلى أحداث الصفائح الذهبية يتحقق فيها مشاهد موثوقة لكلا جزئي الحالة، أولاً: في تحليل نتائج المسارات الجسيمية للهادرونات الثانوية التي وضحت أن مكون الكواركات للحالة الابتدائية للكوارك وضد الكوارك يمكن تحديدها على نحو غير ملتبس، وهذا يعني أن المقادير المقاسة لكل من الحدثين النفاثين (جيت) يمكن بغير التباس تكون متعلقة بالنوع الخاص بالكوارك ذى الكتلة m واللف s والنكهة q_f. ثانيًا: صورة الكمبيوتر المؤثرة لمثل هذا الحدث النفاث الذي يتم الحصول عليه من تسجيل عملية التشتت المحددة (الواقعية) والتي تحدث عند لحظة معينة في تجربة تصادمية محددة محدثة قصة سببية محبوكة عن ماذا نحن ذاهبون داخل منقطة التفاعل، ترتبط قضية كل حدث غير ملتبس لكل كوارك منفرد، والذي طبقًا لنظرية راسخة تمامًا هو أحد المكونين لمركب نظام الكوارك وضد الكوارك[1].

حتى لو أن الكواركات لم تأت بذاتها ولكن فقط في حالات مربوطة، فإنها تعتبر أجزاء ديناميكية للنيوكليونات في فهم مكونات المادة (MC) ينتج

---

(١) ومع هذا فإنها محل جدال فى خطوة هايزنبرج بسبب أن هذه الأحداث النفاثة فيها يتم ملاحظة الميزونات الناشئة من تشظى أزواج الكوارك والكوارك المضاد الابتدائية ولا تكون أجزاء مكونة للأخير، وطبقًا لمحاولة البرهان هذه فإن زوج الكوارك ومضاد الكوارك يأتى كسبب لقصته السببية منفردًا، انظر **Fox2006,chap.19** هذه النقطة تكون واضحة العلاقة لمفهوم المسافة الموجودة فى افتراضات القيد والذى أكد فيها هايزنبرج بعدم القبول إدراكًا بالحدس والبديهية وخاصة التناظر.

مكتبة الفكر الجديد

التكامل الشحني ونظير اللف للنيوكليونات من جمع الشحنات الكهربائية وشحنات النكهة للثلاث كواركات طبقًا لقواعد الجمع البسيط (SUM) لعموم الشحنات للكواركات والنيوكليونات. إضافة إلى وجود قواعد الجمع لكمية الحركة. ويمكن أن يعبر عن الدوال التركيبية $w_n(q^2,\nu)$ بدلالة المجموع الوزني لتوزيعات كمية الحركة للكواركات وتحمل الأوزان في هذا المجموع الوزني معنى احتماليًّا، فإنها لا شيء ولكنها مربع مقدار التشتت من التشتت غير المتسق للجسميات المختبرة عند الكواركات المختلفة داخل النيوكليونات[١]. ففي الواقع يتم التعبير عن الاحتمال بأنه عند كوارك معين (q_f) (أو نوع معين لنكهة كوارك) داخل نيوكليون (أو مصحوبًا معه) يحمل مقدارًا نسبيًّا ($x=p_f/P_{nucl}$) من كمية حركة النيوكليون؛ حيث x هي المتغير القياسي للدوال التركيبية[٢]، وبهذه الطريقة فإن الدوال التركيبية للتشتت غير المرن العميق لليبتون مع النيوكليون يتم تفسيره بدلالة توزيعات كمية حركة الكوارك التي تخص النكهات الكواركية الثلاث من الستة والتي تسمى كواركات فوق، وتحت، والغريبة.

لكن ظلت بعض الملامح الغريبة لنموذج كوارك – بارتون باقية، على سبيل المثال القيم المميزة للكتلة والنكهة للكوراكات غير متشابهة (وهذا نتيجة انتهاك CP، هذا ما يسمى بالكوارك المختلط في النموذج المعياري ويعبر

---

(١) الكواركات: هى فيروسات، يتم تمييزها عن طريق مستوياتها الكمية بدلالة أنواعها الثلاثة من الشحنات، هذا إلى حد بعيد دفع للتحدث عن كواركات مختلفة داخل النيوكليونات تتمركز داخل النيوكليون للتصميم المكانى لتجربة التشتت انظر ٤,٥ وما بعده.

(٢) انظر: **Perkins 1987,171-181**

مكتبة الفكر الجديد

عنها بواسطة مصفوفة كوباياش – ماشكاوا) وعند طاقات التشتت العالية جدًا تشير الانتهاكات القياسية في الدوال التركيبية وقواعد الجمع الكمية الحركية المقابلة إلى أنه يجب أن يوجد مزيد من البارتونات تزيد عن الكواركات الثلاثة المتوقعة (المسماة تكافؤية) طبقًا للنمط الساري لنموذج الكوارك – بارتون، تحدث الجليونات بحرًا من الكواركات (أي أزواج من الكوارك وضده) وتأثيرات تجميعة برتب أخرى أعلى والتي تضاف إلى المحتوى الديناميكى[1] للنيوكليون. كلا التأثيرين يوضحان طبيعة شبيه الموجة وطبيعة شبيه المجال لمكونات النيوكليون، وفي الواقع لا يوجد شيء غريب في المحتوى الكمي، ولكن تكون الملامح التي أصابت الحقيقة طبقًا لافتراض القيد هي أن الكواركات تكون تقريبًا مستقلة داخل النيوكلونات، وعلى الضد مع المكونات عالية المستوى للمادة فيفترض أنها تكون حرة تتبع خطًا تقاربيًا في حالاتها المربوطة، ومن ثم حتى لو أنها دائمًا تختص بالنظم المركبة فيكون لها تقريبًا (كميًا) خاصية جسيمية مستقلة (INDEP) وقد حاول أكثر من واحد عدم ربطهم وهم فى حالاتهم الحرة التقاربية خطيًا وقد أصابهم تجمع قوي محدثًا تشظظًا في النهاية.

٦-٦ ماذا تبقى من أنواع الجسيمات؟

لقد كشفت الثورة الكمية المعنى الأصيل لحد "الجسيم" بتقسيمه إلى عدة أنواع من الجسيمات الكمية، ولكن ظل المفهوم الكلاسيكي للجسيم لم يستسلم تمامًا، فقد ظل عدد كبير من الجزيئات أو جسيمات الغبار الماكروسكوبية

---

(١) انظر: Perkins 2000,162-192, Povh et al. 1999,107-111, and sec.8.3

مكتبة الفكر الجديد

مرتبطًا بالنماذج التقريبية للمفهوم (CP)، حتى في حالة هذه الجزيئات الماكروسكوبية قد تكون مثالية صرفة فإنها تتصرف كلاسيكيًّا ومع هذا فإن الخط الفاصل بين المفاهيم الكلاسيكية والكمية يكون متشاكلاً (فازي)، فالفلورينات أي جزئيات C_{60} تمر خلال شق مزدوج وتولد أنماطًا تداخلية كما لو كانت إلكترونات أوفوتونات.

المفهوم الجسيمي هذه الأيام يختلف كثيرًا عما كان في الأيام الأولى للفيزياء الذرية، فلم يثبت حد "جسيم" طويلاً ولكن كان له العديد من الاستعمالات التي اعتمدت على المحتوى النظري والتجريبي ويؤخذ بالذهن قائمة بالمفاهيم الجسيمية تم تطويرها سابقًا، وقد نسأل بعد كل هذا ما ملامح الجسيم السائدة؟ هل يوجد أي سبب جوهري وراء الاستعمالات المحيرة لحد "الجسيم" في الفيزياء السارية؟ أو لنضع ذلك في كلمات أخرى:

هل يوجد أي مفهوم جسيمي عام قد يعتبر "كسبب جوهري معمم" للمفهوم الجسيمي الكلاسيكي، مثل ما قيل في خط فلسفة بور للتتامية واقتراحات هايزنبرج لاستعمال التناظر للمفهوم الجسمي؟

لقد استعمل الفيزيائيون حدًّا رئيسيًّا كمصطلح غير صوري بلغة معتادة ترمز لعدة ظواهر ومفاهيم فيزيائية. فلا ترجع "جسيم" فقط لظواهر ذرية ونووية وفيزياء الجسيمات محدثة المفهوم الإجرائي للجُسيم (OP). وأيضًا ترجع للوسائل الرياضية للنظريات الكمية المتنوعة مثل مفاهيم الدوال الموجية في (QM) والفوتونات (LQ) وكمات المجال الأخرى (FQ) والجسيمات الافتراضية (VP) وشبية الجسيمات (QP). في حالة كمات المجال الحقيقية وأشباه الجسيمات فإن العلاقات بظواهر أشباه الجسيمات

مكتبة الفكر الجديد

التجريبية والمفهوم الجسيمي العملي يكون بعيدًا عن الوضوح لكنه لا يزال هناك، وفقط يكون مفقودًا فى حالة الجسيمات الافتراضية التى لها هذا المحتوى العملى، وهناك يكون حديث الجسيم مجرد الإخبار عن حكاية تخيلية حول ما ذهبت به الافتراضية داخل الصندوق الأسود للتشتت (حتى لو أن هذه قصة دقيقة مع دقة رياضية داخلية بالغة ونهاية تجريبية محظوظة تقع في تنبؤات احتمالية انتقالية).

وعلى نهاية الطرف الآخر مجموعة من المفاهيم الجسيمية النظرية (GT) غير نوعية للجسيمات ولكنها تطبق لحلول معادلات المجال.

توضح هذه الاستعمالات المتنوعة التشابه الفصيلي في مفهوم فيتجنستين. ولكن التجميع لهذه الفصيلة للمفاهيم الجسيمية يكون بغير الوسائل التحكمية، وفي الفصائل البيولوجية يعتمد التشبه لأعداد الفصائل على مجموع الصفات الموروثة. وينشأ كل ذلك في اتجاه أو آخر إما من مفهوم الجسيم الكلاسيكي أو من قوانين القياس المصاحب، وما زالوا مربوطين معًا بدلالة الكميات الفيزيائية الشائعة الكتلة و/أو الطاقة والشحنة أخيرًا ويوجد المزيد من العلاقات، الأعداد الكمية للفصيلة المربوطة مع بعضها بتقديم إضافات اللف عن طريق تكميم الخواص الديناميكية ما عدا الكتلة عمليًا، فهذه الكميات التي تقابل رصدًا جسيميًا أو قياسًا موضعيًا تبعًا للمبدأ الجسيمي العملي، فيمكن للحالات السابقة ذات الخصائص الديناميكية أن تتمركز ويكون هذا التمركز غير معتمد على بعضه البعض وتشارك جميع المفاهيم الجسيمية (عدا الجسيمات الافتراضية) خاصية عدم الاعتماد وإحصائيًا عدم وجود علاقات متبادلة.

مكتبة الفكر الجديد

إن عدم الاعتماد هي خاصية جسيمية صرفة[1]، فهي تضمن عدم الاعتماد إحصائيًّا للجسيمات غير المرتبطة، حتى لو تغيرت إحصائيًّا في الانتقال إلى فيرميونات وبوزونات نظرية الكم، أما فيما يتعلق بمكونات المادة التي تكون النظم المقيدة، وهي تعكس اندهاشًا بأن الكواركات حرة تقاربية خطية وغير معتمدة في مستوياتها المربوطة وطبقًا لهذا فإنها تعتبر جسيمات، ويتضمن مفهوم المجموعة الجسيمية النظرية (GT) عدم الاعتمادية أيضًا، حتى لو كان فقط في تطبيق المجالات غير المرتبطة، الجسيمات التي تأتي من حالات (GT) بدلالة الخصائص الديناميكية للكتلة واللف الندية وبعض عموم الشحنات وتتعلق بهذه الخصائص الديناميكية للتماثلية وقوانين الحفظ لنظريات ما وراء المفاهيم الجسيمية المتنوعة، أما بالنسبة إلى التمركز (الموضعية) ونظرية المجموعة سواء غير متضمنة ولا تحول دونها (لا تعوقها).

من ثم، فعندنا السلسلة التالية لعموم المفهوم الجسيمي الكلاسيكي:

$$(CP)\rightarrow(QM),\ (LQ)\rightarrow(FQ),\ (QP)\rightarrow(GT). \qquad (6.18)$$

على اليسار توجد الجسيمات الكلاسيكية، وعلى اليمين توجد المجالات، وفي الوسط هي الأعضاء الأربعة لفصيلة الكم (لا توجد علاقاتها بالضبط هنا، ولكن بوضوح عممت كمات المجال وأشباه الجسيمات لكل من كمات الضوء وجسيمات ميكانيكا الكم). ولم يكن بينها مفهوم الجسيم الافتراضي، وهو فقط عضو الفصيلة الذي حاد. الجسيمات الافتراضية لم تكن متمركزة

---

(١) التى لها معان متنوعة لم يتم تناولها بالتحليل هنا سيتم مناقشتها فى الاستنتاجات العامة فى هذا الكتاب (الفصل الثامن الفقرة ٨-٥).

مكتبة الفكر الجديد

ولا معتمدة على بعض ولا تعمل بأهمية حفظ الطاقة، وبالتالي لـم يعتبـروا عادة منتمين للجسيمات الفيزيائية. يجب أن نميل للتفكير بالشيء نفسه لأشباه الجسيمات، ولكن بالوضع التناقصي للجسيمات الافتراضية وأن سلوكها يكون في عدة اعتبارات مثلية للجسيمات الفيزيائية تقريبًا، ونتيجة لهـذه الأسـباب جميعها يجب أن تكون الجسيمات الافتراضية متضمنة في مفهوم الجسيمات الفيزيائية، ولكن يتضمن أشباه الجسيمات، ومن ثم يجب أن نفـرق المفهـوم الجسيمي العام عن مفهوم الجسيمات الفيزيائية جاعلين هذا التفريـق يبـدي الخصائص التالية لتكون مثلية للجسيمات.

(GP) الجسيمات العامة؛ هي:

(MESQ) تجمعات الكتلة m والطاقة E واللف s والشحنات q_i.

(DISC) عدم الاتصال؛ أي أنهم يأتوا في كمات.

(PP) الجسيمات الفيزيائية هي إضافة:

(INDEP) غير معتمدين على بعضهم.

(CONS) موضوع لقوانين الحفظ، .... و (على نحو مشجع)...

(LOCPD) موضعيًّا (تمركزيًّا) عن طريق العدد الجسيمي.

لقد نوقشت خصائص (MESQ) (أو بعض قوائم الخصائص الديناميكية قصرت أم طالت) الموزعة عن طريق مفاهيم جميع الجـسيمات فـي هـذا الفصل، وقد أسهمت الـ (DISC) عن طريق جميع مفاهيم الجسيم الكمية مثل الخاصية الرياضية التي يعبر عنها بمضاعفات ثابت بلانك أو بعض الشحنات

مكتبة الفكر الجديد

الأولية، ومع هذا، تأتي الجسيمات الكلاسيكية أيضًا في هيئة كمات معينة للكتلة والشحنة وتكون (DISC) فقط في نظرية المجال الكمي حالة بديهية مكتسبة، وهنا تنبني على قواعد الاستبدال (التعديل) لمعاملات التخليق والإفناء.

لقد قيد مفهوم الجسيم الافتراضي (VP) كلاً من (MESQ) و(DISQ). وشاركت مفاهيم الجسيمات الفيزيائية على الأقل في إضافة على الأقل (INDEP) و(CONS)، ولقد عبرت هذه الأنواع الأربعة معًا بكثير من الاعتناء للخصائص عن الميتارياضيات (ما وراء – الرياضيات) والبناء الجبري الذي يهم الفيزياء السارية وطريقة الكشف عن تكوين النظرية. إن (MESQ) و(CONS) يقتربا بعلاقة بالمبادئ الموحدة التي تمت مناقشتها في الفصول القليلة الأخيرة وعلى وجه الخصوص المناقشات البعدية والتماثليات وقواعد الانتقاء الفائقة[1].

ففي (MESQ) تعتبر الجسيمات تجمعية ناهيك عن حاملات لهذه الخصائص، وهذا في اتجاه المفهوم الإجرائي للجُسيم ولا يمكن قياس الحاملات الميتافيزيقية لهذه الخصائص. عمليًا، تم تصوير الجسيمات كتجميعات لخصائص ديناميكية معينة والتي تتجه بثبات معًا تحت ظروف تجريبية معرفية جيدًا، وفي المفهوم المقترح هنا للجسيم العام يظل تصورهم كعناصر لوكين التجريبية أو مجموعة حزم من الخصائص، هذا المفهوم يكون ميتافيزيقيًا معتدلاً، ولكن ليس ممتنعًا. حتى مفهوم الجسيم التحرري يجب أن يكون ميتافيزيقيًا فإنه ينبني على الاعتقاد الواقعي أنه توجد دقائق

(١) انظر الفصل الرابع (فقرة ٤-٢) والفصل الخامس (فقرة ٥-٤-٣).

مكتبة الفكر الجديد

تظهر كرزم أو حزم مستقرة من خصائص الظواهر، وقد تم التأكيد في هذا الفصل، فقرة (٦-٣) أن هذا يكون تراكبًا ميتافيزيقيًّا لمفهوم الجسيم العملي، وتستطيع التجمعات المستقرة فقط للخصائص الديناميكية أن تحدث إعادة إنتاج للتجارب وهذا الافتراض يحتوي المذهب الواقعي أو الحقيقي للخصائص المقترحة في فقرة (٦-١) ولكنها ما زالت هي الأقوى، وتتطلب ارتباط الخصائص الديناميكية للجسيمات دون الذرية لتقيد معًا بخاصية الرزم مع حالة الأنواع الطبيعية[١]، وبوضوح فإن هذه الوضع الضعيف للميتافيزيقا المعتاد للعناصر، ونتيجة للفقد الزماني- المكاني الانفرادي وعدم التمييز لجميع الجسيمات الكمية فإن الحاملات الميتافيزيقية للخصائص تتلاشى ولكن تترك بعض غراء (وسيط لاصق) ميتافيزيقي يجعلها ملتصقة معًا، وهذا ما بقى مستعصيًا للمفهوم المعتاد للعنصر في فيزياء الجسيمات.

ومع هذا، لم يتسق هذا اللاصق الميتافيزيقي المربوط بأساس تجريبي للمفهوم الجسيمي الذى ظهر في الفصل الثاني، وانعكس ذلك عن طريق (LOCPD) وجاء التنبؤ بترتيبات حتى لو أنهم لم يعملوا حقيقة في المجال الكمي[٢]. وهنا كانت الخاصية الكلاسيكية متمركزة موضعيًّا بصفة عامة، وأخذ في الحسبان الإمكانيات الإجرائية للإلكترونات الموجودة والفوتونات والكميات الكمية الأخرى بوسائل العدادات الجسيمية، وهنا مرة أخرى فإن

---

(١) تُعد الأنطولوجيا المجازية موضوعًا مرتبطًا بالمقاربة الأنطولوجية. انظر على سبيل المثال: **Seibt2002**

(٢) .... لأن الترتيبات تفهم فى المعتاد كعلة موضعية قوية بينما تكون الظواهر الكمية وأسبابها غير موضعية.

مكتبة الفكر الجديد

الفكرة الأساسية تكون في الشيء المتمركز عن طريق قوانين الحفظ (CONS) فوق كل الطاقة المحفوظة. وإجرائيًّا، فإن الجسيم المخلف مسارًا يكون لا شيء سوى تكرار التمركز للكميات الديناميكية المحفوظة فهذا يكون عددًا وافرًا؛ حيث لا تستطيع سوى تفكير قابلية التكرار هذه إلا كمؤشر لوجود شيء ضمني أو أساسي، ولكن هذا ليس كثيرًا جدًّا وقد يعتبر المفهوم الجسيمي لاعبًا لدور أساسي في مبادئ مخططات "كانت" للجوهر. فطبقًا لكانت يمكن تفسير الجوهر في العلوم الفيزيائية بدلالة الكميات المحفوظة(١).

وبقية أخرى لا يستغني عنها في الميتافيزيقا المعتادة للعنصر تتمثل في خاصية عدم الاعتماد (INDEP)؛ ففي الميكانيكا الكلاسيكية تتضمن أن الجسيمات عبارة عن أشياء موجودة تمثل نفسها، تتشابه مع الطريقة نفسها التي تصور فيها كل من "ديكارت أو لايبنتس" بشيء من الاختلاف للعناصر. بالنسبة إلى معرفتي بهذه الخاصية الحاسمة لعدم الاعتماد (INDEP)، فإن مظاهرها المتنوعة وتقييداتها الكمية تم إهمالها تمامًا في المناقشة الفلسفية لمفهوم الجسيم. فمن أحد الجوانب تقترب علاقتها للخصائص الإحصائية من أنواع متعددة من الجسيمات. ومن الوجهة الأخرى فإن مفهومها الواسع في كونها غير مزدوجة فإنها تكون جسرًا لما بعد–النظري بين مفاهيم الجسيم والمجال(٢). ففي المفهوم الجسيمي الكلاسيكي (CP) للفصل السادس (فقرة ٦–١) الذى نص على خاصية عدم الاعتماد كما يلي في معظم الفهم العام.

---

(١) انظر: **Kant 1786, A116 (Akad.4.54-542) and von Weizsacker1971,383-404.**

(٢) نستطيع أن نفكر بأن غير الأشباه النقطية للتفاعلات تُعد جسرًا آخر لما وراء النظرية بين الجسيم ونظريات المجال وهي الخاصية (POINT) من المفاهيم الجسيمية التى=

مكتبة الفكر الجديد

(INDEP) عدم الاعتماد يعني أن الجسيمات (UNCOUP) قد تكون غير متفاعلة أو مستويات غير متقارنة و(UNCORR) شروطها الابتدائية غير مرتبطة بعلاقة متبادلة.

في الميكانيكا الكلاسيكية يستنتج المظهر الثاني لعدم الاعتماد من المظهر الأول وفي الحقيقة فإن خاصية عدم الاعتماد تقترب أيضًا علاقتها بالملامح التركيبية للطرق التجريبية المشروحة في (فقرة ٢-٢) كما في أهداف التحليل السببي والمجرد ولكن كلا من (UNCOUP) و(UNCORR) هما أكثر من مجرد إضافة، فإذا كان عدم الاعتماد للأنظمة والأشياء الفيزيائية غير متحقق بدرجة معينة في الواقع التجريبي فإن تجارب الفيزياء ستصبح غير ممكنة ولا يمكن الدفاع عن مفاهيم الديناميكا الفيزيائية. ومع هذا، ففي المجال الكمي هو والمفهوم الجسيمي الكلاسيكي تنهار خاصية عدم الاعتماد بتؤدة. أيضًا، ومع المفاهيم الجسيمية الكمية تصبح مختلفة. فمبدئيًا تعتبر الجسيمات غير متفاعلة أو غير متقاربة، وهذا بالافتراض (UNCOUP) يكون حاسمًا لمجموعة المفهوم الجسيمي النظري (GT) دون أن يكون لها أي نظير إحصائي (UNCORR). وعلى نحو مضاد في المفهوم الإجرائي للجسيم (OP) عدم الاعتماد يعني فقط أن يحصر الجسم الفرد

=تمت مناقشتها فيما قبل بعاليه، ومع هذا فإن معناها يعتمد بشدة على النظريات الأساسية؛ وهى تحتوى على المفاهيم الموثوق فيها جدًا للموضعية والسببية، وهذه النقطة سوف تأتى فى البند التالى من هذا الفصل، وإنه من السهل كثيرًا توضيح عدم الاعتمادية فى الحدود البعد- نظرية التى تسمى بدلالة سلوك التفاعلات الحرة والسلوك الإحصائى لعدم الارتباط بعلاقة متبادلة موضحة.

مكتبة الفكر الجديد

ويكون غير مرتبط بعلاقة متبادلة في مفهوم (UNCORR)، مشيرًا إلى عدم الاعتماد الإحصائي للأحداث المفردة بأن تصنع أداء كميًّا موحدًا ولكن هـذا ليس كل شيء، ففي نظرية الكم يصبح كلا المظهرين لخاصية عدم الاعتماد الكلاسيكية في نهاية الأمر في حالة إشكالية تحتمل النقاش. فـي أول لمحـة يبدو العكس فهو الحالة؛ حيث تكون نتائج القياس الكمي إحصائيًّا في حالـة عدم اعتماد إذا كان القياس غير متكرر، إلا أن هناك إضافة إذ توجد قيـود عديدة على (UNCOUP) و / أو (UNCORR):

١- تحل إحصائيًّا فيرمي وبوز محل الإحصاء الكلاسيكية، وهذا يعني أنـه يوجد بعض المستويات الكمية الممكنة أقل من المستويات الكلاسـيكية، إضافة إلى عدم التماثلية أو التماثلية لدالـة الميكانيكـا الكميـة عديـدة الجسيمات الخاصة بالنظام المربوط المحدث للتأثير الديناميكي يسمى بما يطلق عليه دون تبادل الطاقة إلى طاقة نظام عديد الجسيمات.

٢- في النظام الكمي المعقد نتيجة قوانين الحفـظ الخاضـعة لـشروط تجريبية معينة لم يطل الحصر الجسيمي غير المرتبط بعلاقة متبادلة والمثال المعروف جيدًا هو ترابطات EPR[1]، والآخرون هم ماحون الكم والتى أخذت تجاربهم الطريق حديثًا ونوقشت فى الفصل السابع (فقرة ٧-٥).

٣- ما بعد نظرية الاضطراب للرتبة الأولى تكون نظرية المجال الكمي في احتياج لإعادة تطبيع، وبسبب مفهوم عدم الاعتماد فإن الجسيمات غير المتفاعلة لا يطول الدفاع عنها.

---

(1) Einstein et al. 1935, Aspect et al. 1982.

مكتبة الفكر الجديد

ومع ذلك، فإن شبية الجسيمات في فيزياء المادة المكثفة قد برهن كيف نشأ من التأثير التجمعي في الجوامد، وقد ظهر شبيه جسيم لشبه عدم الاعتماد جديد، وبوضوح فإنه أساس للقيود السابقة (UNCOUP) و(UNCORR)، أيضًا.

قابلة التمركز (موضعيًّا) تكون حاسمة للمكون الإجرائي للمفاهيم الجسيمية (CP) و(QM) و(LQ) و(FQ) و(GT). وقد انتهكت عن طريق الكواركات وبصفة عامة في المجال النسبوي. ومع هذا، فقد أوضح نموذج الكوارك مثل مفهوم شبيه الجسيم (QP) أنه لم يعتبر اليوم طويلاً بقابلية الموضعية كضرورة للخاصية الجسيمية في حالة الكواركات، وأن قواعد الجمع للخصائص الديناميكية وكمية الحركة وسلوك التشتت شبه النقطي في مجال طاقة معينة والحكايات السببية المصاحبة لأحداث (الجيت –النفاثة) تعتبر كافية.

وحتى في حالة أشباه الجسيمات فإن حالة كمية الحركة الحادة تكون كافية ويوضح تركيب مستويات شبه الجسيم أنه في المجال الكمي قد صنف عدم الاستمرارية بأعلى من قابلية التمركز. وأن الفونونات وأشباه الجسميات الأخرى تكون غير مستمرة بمثل طريقة الفوتونات، فإنها تكون متمركزة (موضعيًّا) في كمية الحركة المكانية (الفراغية) وتحت ظروف معينة فقط تصبح أشباه الجسيمات تقريبًا موضعية في نطاق مكاني، وبالمثل فإن الفوتونات تصبح فقط تقريبًا موضعية في العداد الجسيمي، ومع ذلك نتيجة خاصية عدم الاعتماد وقوانين الحفظ التي أوجدت قواعد الجمع بما قد يعتبر جسيمات فيزيائية، وتحت شروط حدودية معينة وجدوا في مستويات موضعية

مكتبة الفكر الجديد

تقريبًا أو (في حالة الكواركات) كأجزاء مكونة غير مستمرة لأنظمة مربوطة قابلية للموضعية.

وكما تم ذكره ففي أي نظرية كمية تفضل مستويات كمية الحركة، ودون تفاعلات، فإن الجسيمات الكمية تكون بالأحرى موضعية في فضاء كمية الحركة عن كونها في محاور زمنية – مكانية، القياسات الموضعية هي تفاعلات مع العدد الجسيمي، ودونها يتقدم مستوى ميكانيكا الكم تجاه الموجة المستوية ودون معدة القياس الماكروسكوبي الموضعي لا يمكن إعادة تحديد لنوع الجسم نفسه خلال القياسات المتتابعة لمسار الجسيم[١] إضافة إلى أن تمركز الجسيمات في نطاق مكاني – زمني محدد يكون على ميزة بنظرية الكم النسبوية[٢].

بالتأكيد اعتنت الفيزياء دون الذرية بالتجميعة غير المترابطة (غير متصلة) وغير المعتمدة والتمركزة (موضعيًّا) لكل من الكتلة- طاقة واللف والندية وبعض الشحنات العامة ولكن لا توجد نظرية بقبول شامل لهم، الشيء الموجود (إذا وجد) له سمات أساسية للمجال مفضل على الجسيم، ولكن يجب الحرص لشدة النظر لأي نظرية في طبيعة وجود المجالات الكمية غير المتفاعلة، بقدر ما أستطيع رؤية قواعد التحويل فإن معاملات المجال تحول دون وضوح أي تفسير فيزيائي للمجال الكمي نفسه، وما يبقى كون التفسير الاحتمالي المعتاد لنظرية الكم، وتطبق للمصفوفة- s؛ أى

---

(١) انظر: الفصل السادس (فقرة ٦-٦).

(٢) انظر: Clifton and Halvorson 2002

مكتبة الفكر الجديد

للتفاعلات وحدها[1]، بالإضافة إلى بقاء التأثيرات الجمعية للجسيمات الافتراضية، ويمكن قياس أدوارها في ديناميكية تركيب مكونات المادة[2]، ويكون مجال الكم الأساسي غير موضعي؛ لأن تركيبه النسبوي يكون غير مقارن مع المستويات الموضعية. تأسست مناقشة المفاهيم الجسيمية في أقسام الفصل السابق على التقريبية، فمفهوم الجسيم الافتراضي يكون جزءًا تامًّا للطريقة التقريبية، وتحتوي جميع المفاهيم الجسيمية الأخرى على عدم الاعتماد، ولكن لا يوجد شيء فيزيائي أو نظام في الكون يكون في عدم اعتماد حقيقي، ويكون فرض عدم الاعتماد تقريبيًّا والذي كان مصححًا في آخر تحليل، مثل مسائل إعادة تطبيع نظرية مجال الكم وتوضيح فيزياء المادة المكثفة وهذا يعمل فقط بالنسبة إلى مسائل عديدة للرتبة الأولى في نظرية الاضطراب، ومع هذا، وفوق ذلك لا تعمل نظرية المجال كل عمل، ولا يكون للمجالات النسبوية مستويات موضعية، وربما يحيل الجمع العملي والبديهي للفيزياء الحالية الشخص المهتم إلى أي نظرية في طبيعة المذهب التعددي، وعند هذه النقطة فإن الخاصية المزدوجة الموجية الجسيمة تحتاج إلى إعادة الدراسة.

---

(١) يُحابي هذا مع غيره من السمات الإجرائية الأخرى لنظرية مجال الكم الأنطولوجيا العلاقاتية. انظر: **Fallkenburg2002a**، ويتعين عند هذه النقطة البدء في مناقشة الجوانب الأنطولوجية لنظرية مجال الكم. انظر:

Brown and Harre 1988, Auyang 1995,Cao 1999,Kuhlmann et al.2002.

(٢) لقد أصبح هذا مهمًّا في نموذج كوارك-بارتون عند طاقات التشتت العالية؛ حيث ما يسمى بحر الكواركات والجلونات تساهم في اللف وكمية الحركة للبروتون والنيوترون.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل السابع

ازدواجية الموجة - الجُسيم

يستخدم العديد من الفيزيائيين هذه الأيام المصطلحين "الجُسيم" و"المجال" بالترادف بدرجة أو بأخرى. وهذه نتيجة واضحة لتحولات مفهوم الجُسيم المناقش بالفصل الأخير. بدأت فيزياء الجسيمات من المفهوم الكلاسيكي للجُسيم ووصلت إلى المفهوم النظرى للمجموعات والذي يتعامل مع الكميات الديناميكية المحفوظة للمجالات. فالجسيمات الكمية التى نوقشت فى الفقرة (٦-٢) والفقرة (٦-٤) ليست جُسيمات ولا مجالات بالمعنى الكلاسيكى، ولكنها كانت ذات ملامح شبه موجية وشبه جُسيمية. ووصفت أنظمة ميكانيكا الكم بدلالة الموجات المستوية والحزم الموجية المتموضعة بشكل أكثر أو أقل حدة. وقد تكون المجالات الكمية إما في حالة عددية تمامًا أو في حالة طورية مُعرفة جيدًا، ولكن لا تكون كلتا الحالتين في الوقت نفسه. فبالنسبة إلى الفوتونات تكون الحالات المُتلازمة بأقل قدر من الصرامة، والطورية تكون أقرب ما يمكن لوصف المجال الكلاسيكي.

إن السمات الزمكانية والديناميكية الغامضة للجُسيمات الكمية غالبًا ما يتم التعبير عنها بدلالة "ازدواجية الموجة-الجُسيم". على حين قد يظن بعض فلاسفة العلم أن هذا أمر مهجور، فإن ازدواجية الموجة-الجُسيم في فيزياء الكم مفهوم مُعاصر تمامًا. حتى إن العديد من الفيزيائيين يُفضلون استخدام

مكتبة الفكر الجديد

مصطلح "موجسيم" "wavicle" ليُشير إلى جُسيمات ما دون الـذرة وسـماتها الشبيهة بالموجة. إلا أن هذا ليس مفيدًا؛ لأنه يحجب المعنى الدقيق لازدواجية الموجة الجُسيم بدلاً من الكشف عنه.

إن ازدواجية الموجة–الجُسيم مفهوم غير صوري. إنها لا تنتمي إلـى أي نظرية كم مُحددة. والأحرى أنها تُعبر عن الطريقة التي يتحدث بها الكثير من الفيزيائيين عن مرجعيات زائفة لأي نظرية كم. من هنا فإنه مفهوم بعد–نظري يُستخدم لتفسير نظريات الكم المُعاصرة، أو هو مفهوم فلسفي. لكنـه ينتمي إلى ممارسة فيزيائية. والهدف من هذا الفصل بحث سـميانطيقا هـذا المفهوم. ووظيفته في الممارسة الفيزيائية أمر مُتفرد. إنه يقوم بربط الجوانب البديهية والإجرائية والمرجعية لمفاهيم الكم المُنفصلة، مع الأخذ في الاعتبار أن وظائف الموجة لنظرية الكم لها فقط معنى احتمالي. وعلى وجه التحديد، فإن مفهوم ازدواجية الموجة–الجُسيم يعبر الفجوة بين التفـسير الاحتمـالي والعمليات دون الذرية الفردية التي تحدث في أدوات القياس. ولسوف نـرى أن هذا يُعزى جزئيًّا إلى تفسير بورن الاحتمالي لدالة الموجـة الميكانيكيـة الكمية، وجزئيًّا إلى تفسير بور التتامي لظواهر الكم الفردية.

لقد تطورت دلالات ازدواجية الموجة–الجُسيم مع فيزياء الكم، وتحـتم فحص النسخ المعدلة للمفهوم فيما يلي. إن الخلفيـة الـصورية والإجرائيـة لازدواجية الموجة–الجُسيم هي الافتراضات الكميـة الـضوئية لأينـشتين، والموجات المادية لدى بروي، وما يُناظرها من الظواهر الكمية (فقرة ٧–١)، وبعد ظهور ميكانيكا الكم جاءت الخاصية الموجية الجسيمية بمظاهر أكثـر حداثة لتؤدى دورًا في المشهد، وتلك العلاقات المُتصلة بالتفسير الاحتمـالي

مكتبة الفكر الجديد

لبورن بالنسبة إلى ميكانيكا الكم وعلاقات عدم التحديد لهايزنبرج ومبدأي بور لقاعدة التناظر والتتام أصبحت أكثر تأثيرًا (فقرة ٧-٢). وقد استعملت حسابات بورن للاحتمالية الموجية والرصد الجُسيمي في الفيزياء العملية حتى يومنا هذا، وقد ميز الاتجاه البراجماتي بين الموجات والجسيمات كما يلي: تم تحضير الموجات في فيزياء الكم ولكن الجسيمات يتم رصدها أو عدها، وتعتمد هذه النظرة على اللا تماثل بين العمليات التجريبية لإعداد أنظمة الكم وعدها، وقد نوقشت اللا تماثلية لتجربتين رائعتين هما بالتحديد: تداخل شعاعي ليزر يولدان فوتونًا واحدًا فقط (تجربة بفليجور – ماندل ١٩٦٧) والاستقطاب المُتتالي للفوتونات الفردية في التراكب المتغير فقرة (٧-٣).

وفي البصريات الكمية الحديثة، أعيد اعتبار التجربة الفكرية الشهيرة باستخدام الشق المزدوج في مناظرة بور – أينشتين والضوء المجهري لفاينمان. في عام ١٩٩١ اقترح" سكللي وإنجليرت ووالثر" تجربة الشق المُزدوج مع معلومات المسار (الذي مهد طريق التجربة) وممحاة كمية، وكانت فكرتهم في تخزين مسار المعلومات عن طريق وسائل التعقيد الكمي مقابل تراجع الشق الطولي لأينشتين وادعاء فاينمان بأنه يستحيل قياس المسار خلال الشق الطولي المزدوج دون أي انتقال لكمية حركة واقعية وإيجاد طريق حول مبدأ عدم التحديد لهايزنبرج، ونتج عن هذا المناظرة حول التساؤل عما إذا كان مبدأ تتامية بور يكون رئيسًا أكثر من علاقة عدم التحديد لهايزنبرج. وكمحاولة لفض هذا السجال فقد تم تطوير ما يسمى بعلاقات الازدواجية فقرة (٧-٤) وعن طريق التجارب الحديثة التي حققت مقترحًا سكلليًا لتجربة التداخل مع معلومات المسار والمحو الكمي في عدة

مكتبة الفكر الجديد

طرق: استعمال مقياس التداخل لماخ- زهندر (مجموعة ou عام ١٩٩٠) ومقياس التداخل الذري مع موجات الضوء الموقوفة (مجموعة Burr، ١٩٩٨a,b)، (Rempe, Durr عام ٢٠٠٠أ) والشق الطولي المزدوج بضوء رُبع موجي مُستقطب دائريًّا (والبورن وآخرون ٢٠٠٣) فقرة (٧-٥). اتضح في نهاية المطاف أن ازدواجية الموجة-الجُسيم ليست مهجورة، بينما أُخفقت الأفكار الميتافيزيقية التقليدية حول الجسيمات الميكروسكوبية. ويكمن أحد الأسباب في وجود حالات للكشف عن الجُسيمات يستحيل أن نصيغ لها قصة علية واضحة المعالم. ويتمثل السبب الثاني في أنه لم يعد ثمة مفهوم غامض للعلية، ولكن تعددية للمفاهيم العلية فقرة (٧-٦).

٧-١ جسيمات الضوء وموجات المادة

تاريخيًّا، ترجع ازدواجية الموجة-الجُسيم إلى لوي دي بروي. بحث دي بروي في التركيب المفهومي للجُسيمات والموجات التي توحد المادة والضوء. في أطروحته عام ١٩٢٣، قدم بروي فرضية أن المادة لها خصائص شبيهة بالموجة مماثلة بشكل كامل للجوانب الجُسيمية للضوء[١]. وعلى حين اعتُبرت الجوانب الجُسيمية للضوء مُثبتة جيدًا منذ بُرهان أثر كومبتون في تجربة الارتداد بوث وجايجر[٢]، فإن الجوانب الموجية للمادة ليست كذلك.

---

(١) انظر Wheaton 1983, 286-301.

(٢) انظر الفصل الثالث فقرة (٣-٢-٢) و Wheaton 1983, 279-281، وأيضًا Greenstein and Zajonc 1997, 23-35، وملاحظاتي في نهاية الفقرة (٣-٢-٢).

مكتبة الفكر الجديد

ومع هذا، فإن عددًا من الفيزيائيين لا يزالون يحاولون تجنب هذه الافتراضات. وخاصة نظرية بور-كرامارز - سلاتر (BKS) لظاهرة كومبتون التي تستحق الاهتمام. فقد تجنبت الفروض الكمية للضوء على حساب التخلي عن حفظ الطاقة للعمليات المنفردة[1]، وحقيقة فإن وجود جسيمات الضوء وموجات المادة قد استقر أمره فقط في سياق وجود عديد من التجارب وعلى سبيل المحاولات نحو التوجه النظري، ومع ذلك، فإن فروض دي بروي للموجات المادية قد خطت خطوة حاسمة تجاه ميكانيكا الكم. وقد أخذت في الاعتبار الميكانيكا الموجية لشرودنجر وتفسير بورن الاحتمالي لمربع سعة الدالة الموجية، وبعد ظهور ميكانيكا الكم عام ١٩٢٧ ومشاهدة دافيون وجيرمر لأهداب التداخل في تجربة حيود الإلكترون والتي أعطت في النهاية دعمًا لفروض موجات المادة، وفي العام نفسه عبر بور عن ازدواجية الموجة-الجُسيم بدلالة التتام في محاضرته الشهيرة-كومو-como[2].

لقد أوضح التطور التاريخي أن ازدواجية الموجة-الجُسيم وضعت خطوة للأمام على الأرضية البديهية والعملية، وقبل ظهور ميكانيكا الكم كان يوجد فقط الأساس الصوري لازدواجية الموجة-الجُسيم لفروض الكم

---

(1) Bohr et al.1924.

عمل بور على هذه النظرية بعد أن حصل أينشتين على جائزة نوبل عن فرضية كم الضوء. انظر:

Jammer1966,183-187; Wheaton 1983, 281; Beller 1999.

تم بحث دور نظرية BKS في تطور فكر بور في Pringe 2006.

(2) Bohr 1928. انظر الفقرة ٢-٢-٧

مكتبة الفكر الجديد

الضوئي لأينشتين وإدماجها في قوانين الحركة النسبوية وفروض دي بروي لموجات المادة، والقوانين القاطعة هي علاقة بلانك – أينشتين[1] $E = h\nu$، وعلاقة أينشتين –دى بروي[2] $p=\hbar k$ وتصل هذه القوانين خصائص الجسيم الكلاسيكية بخصائص الموجة الكلاسيكية، فهي تصل الطاقة بالتردد وكمية الحركة بالطول الموجي، وفي الحاضر ترتبط بميكانيكا الكم والديناميكيا الكهربائية الكمية، وبالتالي فإنها قد تعتبر أساسًا صوريًّا غير خلافي لازدواجية الموجة–الجُسيم حتى يومنا هذا.

عمليًّا، تم التأكد على ازدواجية الموجة–الجُسيم عن طريق الظواهر التجريبية لشبه الجسيم وشبه الموجة التي طبق عليها تلك العلاقات، لقد أثبتت ظاهرة كوميتون للضوء الخصائص الجسيمية التي تم التنبؤ بها عن طريق قوانين الحركة النسبوية حتى لو أن ظواهر الحيود الكلاسيكية أشارت إلى موجات الضوء. بالنسبة إلى المادة، فقد أشارت قياسات طومسون e/m والمسارات الجسيمية الملاحظة في الغرفة السحابية على أن أشعة الكاثود وأشعة –α ألفا كانت نتيجة جسيمات شحنية كتلية بينما شاهد دافيسون وجيرمر نمط الحيود عندما أرسلا شعاعًا إلكترونيًّا خلال بلورة رقيقة من النيكل[3] ومن ثم، فإن القاعدة التجريبية للازدواج الموجي الجسيمي هو إثبات تجريبي بأن المسارات الجسيمية أو أهداب التداخل قد تتولد من نوع المصدر الإشعاعي نفسه أو شعاع الجسيمات. لأي نوع توضح ظاهرة شبه– جسيمية

---

(1) Planck 1901, Einstein 1905
(2) Einstein 1917, de Broglie 1923.
(3) Division and Germer 1927.

في التصورات المبكرة للازدواجية الجسيمية– الموجبة انظر شكل (١–٢) في الفقرة (١–٥) الذي يوضح الانحراف المغناطيسي لحيود الإلكترون.

مكتبة الفكر الجديد

أو ظاهرة شبه موجية تكون معتمدة على الأجهزة التجريبية. ففي الغرفة السحابية أو الغرفة الفقاعية يولد شعاع الإلكترونات أو جسيمات ألفا –α مسارات جسيمية وأحداث تشتت، وفي عداد جيجر لأشعة جاما (γ) أو فوتونات عالية الطاقة تتولد طقطقة متتابعة، وفي المتعدد الفوتوني منخفض الشدة الضوئية تتولد نبضات كهربية متتابعة، وفي ظاهرة كومبتون يعطي الفوتون ارتدادًا للإلكترون فاقدًا طاقة ويخرج بتردد أقل وطول موجي أطول، ولكن عند الشق الطولي المزدوج يحدث حيود لأنواع الجسميات المشحونة نفسها أو شعاع النشاط الإشعاعي أو الفوتونات محدثًا أهدابًا تداخلية تشاهد على الشاشة.

تأخذ كل النصوص التى تدور حول الازدواجية الموجية– الجسيمية للمحتوى التجريبى بأن الطريق الذي تتصرف فيه الأنظمة الكمية معتمدة على الطريق الذي تقاس به، وتحت ظروف تجريبية معينة تتصرف الإلكترونات أوالفوتونات بطريقة شبه جسيمية وتحت ظروف معينة أخرى تتصرف بطريقة شبه موجية، فنشأت علاقات بلانك – أينشتين وأينشتين–دى برولى E= hν , p=ħk التى تتعلق بتلك الظواهر شبه الجسيمية وشبه الموجية بدلالة الكميات الفيزيائية التي يمكن قياسها.

٢-٧ الازدواجية الموجية – الجسيمية في ميكانيكا الكم

في ميكانيكا الكم والديناميكا الكهربية الكمية يعبر عن الكميات الفيزيائية بدلالة المشاهدات التي تقابل المعاملات في فضاء هيلبرت وفضاء فوك وهكذا. وتؤثر هذه المعاملات على الدوال الموجية أو شكل المجال وهي تخضع لقوانين التحويل مثلما في علاقات هايزنبرج لعدم التحديد. لقد

مكتبة الفكر الجديد

صاحبت ميكانيكا الكم الطول الموجي لدى بروي للجسيمات الكتلية مع دالة شرودنجر الموجية، وفي الديناميكا الكهربية، تعتبر الفوتونات كمات مجال لمجال ماكسويل الحر؛ حيث تكون كمية حركة أو طاقة الفوتون مصاحبة بعدد موجي لشكل مجال خاص، وكلا النظريتين تعبر عن مظاهر موجة الإلكترونات أو الفوتونات في حدود عملية لنتائج قياس منفردة؛ ففي الممارسة الفيزيائية يكون الربط فقط بين المستوى البديهي للدوال الموجية والمستوى العملي للرصد الجسيمي المنفرد في التفسير الاحتمالي المعتاد لميكانيكا الكم والديناميكا الكهربية الكمية وهكذا.

وبالتالي يجب مبدئيًا أن يتم شرح المفهوم الفيزيائي للازدواج الموجي-الجسيمي بدلالة التفسير الاحتمالي لنظرية الكم، وكان أساس ذلك في الأوراق البحثية المعدة لبورن في تفسير ميكانيكا الكم. ومع هذا، فقد أضاف كل من بورن وبور وهايزنبرج عدة أفكار أخرى، ولم تنه هذه الأفكار المناظرات الفلسفية فقط لميكانيكا كم ما بعد التفسير الاحتمالي فقط، ولكنها أصبحت مؤثرة في مجتمع الفيزيائيين، وذلك بالطرق التي قد يفهم منها الإزدواجية الموجية الجسيمية وضم مفهوم بور التتامي وشرح هايزنبرج لها بدلالة التناظر الكلاسيكي.

٧-٢-١ الاحتمالية الموجية لبورن

تعتمد الرؤية العملية الدقيقة لنظرية الكم على التفسير الاحتمالي لبورن وامتداده بواسطة فون نيومان حتى الوصول إلى القيم المتوقعة في ميكانيكا الكم. وطبقًا للتفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم[1]، وطبقًا للتفسير الاحتمالى

---

(1) Von Neumann 1932.

مكتبة الفكر الجديد

لميكانيكا الكم فإن الدالة الموجية لشرودنجر Ψ تكون لا شيء دون السعة الاحتمالية التي يكون مربعها $|\Psi|^2$ وهو كثافة الاحتمال، وتتنبأ بتوزيع احتمال نتائج القياس منفردة، وفي حال القياس الموضعي فإنها تتنبأ بالتوزيع الفضائي (المكاني) لحصر الجسيمات، ويكون التفسير الاحتمالي لنظرية المجال الكمي في تناظر تام (مماثل) وقد هبطت فقط نظرية المجال الكمي في سياق الفشل في النتائج التجريبية بدلالة مصفوفة -S، ولا تغير عناصر المصفوفة -S بشيء إلا من سعات الاحتمالات الانتقالية.

عندما أوصى بورن بالتفسير الاحتمالي لدالة موجة شرودنجر Ψ مع هذا ظل مرتبكًا حول العلاقة بين ملامح شبيه الموجة وشبيه الجسيم في الظواهر الكمية، ففي ورقته المشتملة على التفسير الاحتمالي في ميكانيكية الكم قد أوضح المفاهيم الكلاسكية للجسيمات والموجات (أو المجالات) وأدخلها للذهن عندما عبر عن الازدواجية الموجية – الجسيمية كالتالي:

> المجال المرشد الذي يعبر عنه بالدالة القياسية Ψ [....] ينتشر طبقًا لمعادلة شرودنجر التفاضلية، ومع ذلك فإن الطاقة وكمية الحركة تنتقل كما لو كانت كريًات تحلق حولها(١).

هنا ميز بورن دالة شرودنجر الموجية Ψ بدلالة شبه طيف (شبح) المجال المرشد للجسم أو التخطيط الموجي طبقًا لجامر المستمد من رؤية أينشتين للعلاقة بين الموجات الكهرومغنطيسية وكمات الضوء.

---

(1) Born 1926b,803. من ترجمتي

"المجال المرشد" هنا هى الترجمة الحرفية للكلمة الألمانية ــ"Fuhrungsfeld".

مكتبة الفكر الجديد

اعتبر أينشتين مجال الموجة كنوع من "مجال شبح" [Gespen-sterfeld] والتي ترشد موجاته الفوتونات شبيهة الجسيم إلى مسارها مع فهم أن مربعات السعة (الشدة) تحدد احتمالية وجود الفوتونات أو كثافتها في الفهم الإحصائي المكافئ[١].

بالإضافة إلى ذلك فقد اعتبر بورن أن الطاقة وكمية الحركة المنتقلة تكون متناظرة إلى تقدم اتجاه الجسيمات على طول مساراتها، وتم تناول تفسير هذه الأفكار بموضوعية في التقريب المتغير في مخبئات بوم[٢] (Bohm)، ومع هذا فإن هذه النتائج التي تمت تغطيتها سابقًا كما اتضح بعاليه لم تدعم مثل هذا التأمل، وطبقًا لهذا فإن Ψ نفسها لا معنى لها ولا توجد مسارات جسيمية ويكون مذهب التحديد على المحك، والذي له معنى فيزيائي فقط هو مربع السعة $|\Psi|^2$ حيث إن سعة الاحتمال Ψ تكون موجة وتسمى احتمالية الموجة:

> [....] كما أظهرت وجة نظر بورن، فإن " الموجات " التي مثلت الحسابات الموجية الجسيمية بانتشار خلال فضاء هي "احتمالية موجات" مربع السعة للموجة عند أي نقطة في الفضاء معطية احتمالية وجود جسيم هناك[٣].

لقد جاء بورن بهذا التفسير لدالة شرودنجر الموجية في نموذج عملية التشتت، في هذا النموذج تكون Ψ هي الوصف الرياضي للموجة الحائدة

---

(1) Jammer 1971,41.
(2) Bohm 1952.
(3) Hughes1989,302, ١٩٥٤ .متبعًا في ذلك تفسير "الكمون" لمارجينو

مكتبة الفكر الجديد

وبدت $|\Psi|^2$ معبرة عن تحديد احتمالية أخذ الجسيمات لكمية حركة – عند زاوية تشتت معينة، وفي هذا النموذج تم تزويد الازدواجية الموجية الجسيمية بأدوات كما يلي – النموذج يكون حاضرًا في تشتت الجسيمات المشحونة على الذرات. (وهي تقابل تشتت رذرفورد الكلاسيكي)[1] فتوصف الجسيمات الداخلة عن طريق الموجة المستوية التي تحيد عند الذرة وتوصف نتائج التشتت بدلالة الجسيمات الخارجة التي تنحصر عند بعض زوايا التشتت، وبهذه الطريقة تتمنذج الجسيمات المتشتتة عن طريق حيود الموجة، وتتقدم الموجة طبقًا لمعادلة شرودنجر وهي تتنبأ بالتوزيع الاحتمالي للجسيمات المتشتتة، ففي النهايات الطرفية لتحديد عدة جسيمات يكون للمقدار $|\Psi|^2$ معنى تجريبي للتردد النسبي أو معدل العد الجسيمي، ولم توضح ورقة بحث بورن العلاقة بالضبط بين المفاهيم الاحتمالية والتردد النسبي، ولكن وضحت بدقة مع وجه النظر بأن $|\Psi|^2$ هي الارتباط النظري للتردد التجريبي النسبي لنتائج التشتت المنفردة أو للقياسات الناتجة.

وعلى النقيض لهذا المعنى الفيزيائى لـ $|\Psi|^2$ فإن أفكار المجال المرشد والكريات المتقدمة تكون افتراضية (خالية)، ويمكن عمليًا أن ننسى كل التخمينات حول الموجات المرشدة الرائدة أو المسارات الجسيمية؛ حيث لا يمكن قياسها، وهذا يقابل البناء الاحتمالي لميكانيكا الكم كما أكدها بورن في اتصالاته الأولية حول ميكانيكا كم التشتت.

---

(١) انظر الفقرات (٤-٢ : ٤-٤).

مكتبة الفكر الجديد

إذا ما نظرنا من منظور ما لدينا من ميكانيكا الكم فما من كمية في أي حالة فردية تكون سببًا في تثبيت نتائج تعارض ما؛ ولكن من الناحية التجريبية أيضًا ليس لدينا حتى الآن سبب للاعتقـــاد في أن ثمة خصائص داخلية للذرات تُمثل شرطًا لناتج مُحدد عن التصادم[1].

وعلى أرضية التفسير الاحتمالي تكون الازدواجية الموجية الجسيمية هي ازدواجية احتمالية الموجات ورصد الجسيم، ومن وجهة النظر الإجرائية فإن خصائص شبيه الجسيم وشبيه الموجة للإلكترونات أو الفوتونات أصبحت بحق واضحة جدًا، ففي قياسات دون الذرية الموضعية المنفردة، يمكن قياس مسارات الجسيم وأحداث التشتت وخصائص شبه الجسيم للإلكترونات والفوتونات فقط وجسيمات دون ذرية أخرى. تتضح خصائص شبه الموجة فقط في احتمالية رصد مجموعة جسيمية عديدة. وبالنسبة إلى عدد كبير من القياسات الموضعية فإن الموجات الكمية ومربعات سعاتها تتنبأ بالترددات النسبية (تكرّار) للعد الجسمي، ومن ثم فإن خصائص شبه الموجة للإلكترونات أو الفوتونات تقاس عند مستوى المجموعة الموحدة وتقاس خصائص شبه الجسيم عند نتائج القياس المنفرد، ولكي نلاحظ نمط الحيود خلف الشق المزدوج أو البلورة الرفيعة نحتاج للعديد من الرصد الجسيمي وقد ينشأ ذلك إما من شعاع ضوئي عالى الشدة لضوء الليزر والإلكترونات وهلم جرا ..، أو من شعاع ضوئي منخفض الشدة في تجربة الحيود والتي تجري خلال زمن طويل.

---

(1) **Born 1926a, 51; translation from Wheeler and Zurek 1983, 54.** انظر الاستشهاد الكامل في الفقرة ٦-١

مكتبة الفكر الجديد

بالتالي أوصى تفسير بورن الاحتمالي لدالة موجة ميكانيكا الكم بالرؤية الازدواجية الموجية الجسيمية التالية. من الناحية الإجرائية ثمة جسيمات. يوجد بديهيًا مجالات وموجات. وتتنبأ الموجات بالتوزيع الاحتمالي للجسيمات. يوجد رصد جسيمي منفرد في تجارب التشتت. يوصف التشتت في ميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي بدلالة الدوال الموجية أو صيغ مجال الكم، ويتقابل الاثنان في مساحة مقطع التشتت.

هذه الرؤية قد يعبر عنها بدلالة المفاهيم الجسيمية غير (الصورية) والتي طورت في الفصل الأخير. وأحدث العد الجسيمي المفهوم الإجرائي للجسيم (OP) في فقرة (٦-٣)، وكان للروابط البديهية المتنوعة طرق لوصف المستويات الكمية بدلالة الدوال الموجية وصيغ المجال ومؤثرات المجال وهلم جرا ...، والتي تحدث المفاهيم الجسيمية الكمية في الفصل السادس (فقرة ٦-٢، و٦-٤) بدلالة التوقعات غير الصورية التي تكون هذه المفاهيم الجسيمية، وببساطة فقد أخبرتنا ازدواجية الموجة-الجُسيم أن الجسيمات الكمية تكون هي (LOCPM) التمركز (موضعيًا) عن طريق القياس الموضعي، و(WAVE) في المستويات تتراكب وتتداخل.

وتتصل الفجوة بين خصائص شبيه الجسيم وشبيه الموجة للأنظمة الكمية عن طريق التفسير الاحتمالي. وإجرائيًا تُناظر موجات الكم عددًا كبيرًا للعد الجسيمي ومع هذا، فلم يستطع المستنبطون تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم في شرح ازدواجية الموجة-الجُسيم عن هذا الطريق، فقد أدخلوها في طريق ساعد على الكشف والذي عاد لمسارات علاقات بلانك-أينشتين وأينشتين – دي بروي $p=\hbar k$ و $E=h\nu$ وإلى تطبيق علاقات هايزبنرج لعدم التحديد لعمليات التشتت دون الذرية المنفردة.

مكتبة الفكر الجديد

٧-٢-٢ رؤية بور التتامية

لقد عبرت محاضرة كومو لبور عام ١٩٢٧ عن ازدواجية الموجة-الجسيم بدلالة المتممة أو التتامية، وأصبح هذا المفهوم هو حجر الزاوية لتفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم[١]. ولكي نفهم ماذا يعني هذا، فلنأخذ خطوة خلفية إلى المكون العملي لعلاقات بلانك-أينشتين وأينشتين-دي بروي $P=\hbar k$ و $E = h\nu$ وقد تم التأكيد عليه بواسطة الظواهر الكمية مثل المسارات الكمية وحفظ الطاقة-كمية الحركة في ظاهرة كوميتون مقابل أنماط الحيود المتولدة عن طريق الأشعة الضوئية وأشعة الإلكترونات.

أطلق بور التتامية على مثل هذه الظواهر، وقد اعتمدت رؤيته التتامية لميكانيكا الكم على قاعدة المقابلة[٢]. وطبقًا لهذا، فإن ظواهر الكم التتامية تقابل المفاهيم الكلاسيكية أو نماذج الظواهر التي تتبادل الاستبعاد والتكميل لبعضها البعض.

واعتقد بور أن الفهم الكامل لظواهر الكم تكون فقط بدلالة المفاهيم الكلاسيكية والنماذج، وطبقًا لذلك فإن الشروط التجريبية التي تخضع لها مشاهدة مسارات الجسيمات وأحداث التشتت مكملة للشروط التي تخضع لها ظهور أهداب التداخل.

لقد تغير مفهوم بور التتامي مع الزمن، مع هذا، فمنذ البداية تضمن عدة مستويات مفاهيمية[٣]، ففي كتاباته الأخيرة جعلها توضح أن أجهزة

---

(١) ومع ذلك فطبقًا لهوارد ٢٠٠٢ لما يسمى حاليًا بتفسير كوبنهاجن يرجع إلى هايزنبرج بينما كانت رؤية بور الشخصية لا تعدو الرؤية التتامية **complementarity** .

(٢) انظر: **Meyer-Abich 1965,Fagkenburg 1998,Pringe 2006**

(٣) ثمة تحليل دقيق نجده في **Scheibe 1971, 29-35**. وانظر أيضًا: **Meyer-Abich 1965; Murdoch 1981; Folse 1985=**

مكتبة الفكر الجديد

تجارب التبادل الاستبعادي ولَّدت ظواهر تتامية، وبدا هذا بأن يكون آخر مرحلة مفاهيمية[1]. أدخل بور في محاضرة كومو الشهيرة المفهوم كما يلي :

> ومن ثم فإن طبيعة نظرية الكم نفسها هي ما يُجبرنا على النظر إلى تناسق الزمكان ودعوى العلية، الاتحاد الذي يُميز النظريات الكلاسيكية بسماتها الخاصة، كسمات تكاملية وإن كانت حصرية للوصف [....][2].

وبعد ذلك في محاضرة كومو، استنتج بور هذه التتامية للمحاور الزمانية المكانية والعلية من ازدواجية الموجة – الجسيمية في الفهم الموجود في (فقرة ٧,١) . بدأ الاستنتاج مع علاقات بلانك-أينشتين وأينشتين-دي بروجلي $p=\hbar k$ و $E = h\nu$ وأكد بور أنهم ربطوا الكميات p و E لصورة الجسيم الكلاسيكية وكميات ν,k لصورة الموجة الجسيمية :

في هذه الصيغ تدخل عموم الفكرتين للضوء وأيضًا للمادة في تضاد حاد، بينما تتصاحب الطاقة وكمية الحركة مع مفهوم الجسيمات، ومن ثم قد تتميز طبقًا لوجهة النظر الكلاسيكية عن طريق محاور زمانية مكانية محدودة

= يُقدم جرينشتاين وزاجونك **Greenstein and Zajonc 1997** تفسيرًا نسقيًّا مختصرًا في سياق بصريات الكم.

(١) بور ١٩٣٧ وكتاباته اللاحقة؛ انظر: **Scheibe 1971, 31-32; or Redhead 1987, 50:**
"التتامية: هى علاقة موجودة بين ظواهر كمية تبادلية خاصة. مع أن الظواهر التكاملية لا تحدث متزامنة، وإمكانية تبادليتها تكون ضرورية للوصف التام لواقعية ميكانيكا الكم". ومع هذا؛ فقد افترض هذا فعلاً فى محاضرة كومو الشهيرة، الأقل بشكل ضمني.

(2) Bohr 1928, 90.

مكتبة الفكر الجديد

وترجع دورة الذبذبة والطول الموجي لقاطرة موجية توافقية مستوية لامتداد لا نهائي في المكان والزمان[1].

أشارت هذه الملاحظات إلى اعتبار بور للعلاقات $p=\hbar k$ و $E = h\nu$ كأصل للازدواجية الموجيه-الجسمية، كما تم التوصية بذلك في (فقرة ٧,١).

وفي رؤيتة اعتمدت الازدواجية الموجية الجسمية على وجود الظواهر الكمية شبه الموجية وشبه الجسيمية التي تشكل الأساس الخاص بكل العلاقات.

وفورًا وبعد إدخال مفهومه للتتامية مع المطلب حول محاور الزمان المكانيه والعلية التي تمت تغطيتها سابقًا فإن بور شرح رؤيته للازدواجية الموجيه الجسمية، وقد لخص الظواهر التي تدعم النظرية الكلاسيكية للموجات الكهرومغناطيسية وفروض الكم الضوئي لأينشتين ووجود الكريات الكهربائية وفروض دي بروي للموجات المادية كما يلي :

في الحقيقة، مرة أخرى هنا لا نهتم بالتناقض ولكن بالصورة التتامية للظواهر والتي تقدم فقط تعميمًا جمعيًّا طبيعيًّا لوصف النمط الكلاسيكي[2].

لقد أشارت شروحات بور لاعتباراته للعلاقات بين صور الموجة والجسيم كتتامية مبدئية. ودونت هنا على أن رؤية بور لصور الموجة والجسيم التتامية تكون أكثر فهمًا من ازدواجية الموجة-الجسيم المجردة،

---

(1) Bohr 1928, 92.
(2) Bohr 1928, 91.
وهنا اعتبر بور أوصاف الموجة والجسيم للجسيمات دون الذرية الحرة تكاملية. وكان هذا على نهج علاقات بلانك-أينشتين، وأينشتين-دي بروي.

مكتبة الفكر الجديد

فالتتامية تعني أن هذه الصور تتبادل الاستبعاد والتكميل لبعضها البعض، ومع هذا فقد استنتج من هذه التتامية العلية والمحاور الزمانية والمكانية، واتبعت باعتبارات دي بروي وبور للرزم الموجية وحسابات تشتيتاتها، وباعتبار مساعدات كشفية استنتجت علاقات التشتت للزمن والتردد ν على التوالي للمحاور الكارتيزية (المكانية) x,y,z و مركبات متجهة الموجة $K_{x,y,z}$ كما يلي:

$$\Delta t\, \Delta v = \Delta x\, \Delta k_x = \Delta y\, \Delta k_y = \Delta z\, \Delta k_z = 1 \qquad (7.1)$$

ويضمها مع $E = h\nu$ و $P=\hbar K$، فقد حصل على عدم الحدة للطاقة – الزمن وعدم الحدة لكمية الحركة – الموضع وأنها تشبه الربط المنخفض لعلاقة هايزبنرج لعدم التحديد[١]

$$\Delta t\, \Delta E = \Delta x\, \Delta p_x = \Delta y\, \Delta p_y = \Delta z\, \Delta p_z = 1 \qquad (7.2)$$

وهذا هو الأصل المسمى بعلاقة عدم تحديد الطاقة – الزمن، ولكن تبقى العلاقة المستنتجة السابقة فقط مساعدة في الكشف، فعلاقات (٧,١) تختص بالنموذج الموجي الكلاسيكي، وأضاف بور إليها علاقات ميكانيكا الكم لبلانك–أينشتين وأينشتين–دي بروي بروح مبادئه المقابلة، فعدم حدة (عدم وضوح) طاقة–الزمن في العلاقة (٧,٢) لم يكن لها ترابط واضح صوري في ميكانيكا الكم، وعلى النقيض في علاقات التشتيت المتناظرة لمركبات كمية الحركة والموضوع فإنها لا تقابل علاقة عدم التحديد لمشاهدات ميكانيكا الكم غير المحولة[٢] وقد لخص بور المكون الفيزيائي لـ (٧,٢) كما يلي :

---

(1) Bohr 1928,92-94; المعادلات (١) ص٩٢، و(٢) ص٩٤.

(٢) لا يوجد مؤثر زمني في ميكانيكا الكم. والعلاقة الصورية الوحيدة هي: $\Delta E \Delta v > h =$

مكتبة الفكر الجديد

[....] طبقًا لنظرية الكم فإن العلاقة العكسية العامة الموجـــودة بين أقصى حدة المتجهات الزمان المكـــان والطاقـــة – كميـــة الحركة المصاحبة للمفردات، تعتبر هذه التفصيلات كمصطلحات رمزية بسيطة لطبيعة التتامية لوصف الزمان مكاني ومطالـــب العلية[1].

بضمها مع اعتباراته الأخرى، هذا يشير إلى ضم أو مصاحبة حفـظ الطاقة–كمية الحركة مع العلية، وكما ذكر من قبل في رؤيته لتمثيل الطاقة–كمية الحركة للأنظمة الكمية تكون مصاحبة للوصف الكلاسيكي الجسيمي.

في ظاهرة كومبتون يكون للفوتون تصادم محلي حقًا مع الإلكترونات محدثًا ارتدادًا مشاهدًا للإلكترون وطاقة مفقودة ملاحظة للفوتونات، وأكد بور أيضًا في محاضرة كومو بأن الدليل التجريبي لهذه الظاهرة دحض نظريـــة الـــ BKS في عام ١٩٢٤ التي حاولت أن تنقذ العليـــة بـــافتراض أن حفـظ الطاقة ينتهك بالنسبة إلى أحداث تـــشتت ويتحقـــق فقـــط عنـــد المـــستوى الاحتمالي[2]. وبالتالي فقد افترض أن علاقة هايزنبرج لعدم التحديد $\Delta q \, \Delta p \geq \hbar/2$

وعلاقة التشتيت (٧,٢) تتطبق على أحداث التشتت المنفردة:

=التى يمكن اشتقاقها فى نظرية الكم لربط خط الاتساع والعمر الزمنى لمستويات الكم غير المستقرة. ويتطلب الاشتقاق نظرية المجال الكمى. لمزيد من المناقشة التفصيلية انظر **Messiah1969 sec.4.2.4**

(1) Bohr 1928, 95.

تم إيضاح معنى "الرمزية" لدى رؤية بور في المرجع: **Pringe 2006**.

(2) Bohr 1928, 90.

مكتبة الفكر الجديد

لقد أعطى هايزبنرج للعلاقة (٢) كمصطلح لأقصى دقة في قياس مركبات المحاور الزمان مكاني وكمية الحركة-طاقة للجسيم في آن واحد. فمن إحدى وجهات النظر أنه يمكن قياس محاور الجسيم بأي درجة مرغوبة في الدقة عن طريق استعمال المعدة الضوئية، على سبيل المثال، معدة بإشعاع لطول موجي قصير كاف لأن يستعمل للإضاءة، ومع هذا فطبقًا لنظرية الكم فإن تشتت الإشعاع يكون مرتبطًا دائمًا بتغير محدد في كمية الحركة والتي تكون الأكبر-الأصغر للطول الموجي للإشعاع المستخدم، ومن وجهة النظر الأخرى يمكن تعيين كمية حركة الجسيم بأي درجة مرغوبة في الدقة عن طريق قياس [.....] التي امدت بأن الطول الموجي للإشعاع يكون من الكبر بحيث يمكن إهمال تأثير الارتداد ولكن حين إذ يصبح تعيين المحاور المكانية الزمانية للجسيم المقابلة أقل دقة[1].

ومن ثم، فإن تفسيرات بور للازدواجية الموجية الجسيمية كخصائص مزدوجة للجسيمات المنفردة، ففي رؤيته تكون هذه الخصائص المزدوجة كما تم التعبير عنها عن طريق العلاقة $E = h\nu$ و $p=\hbar k$ وعن طريق هايزنبرج لعدم التحديد ونتيجة ذلك قياس الموضع يغير كمية الحركة لامتداد غير معروف والعكس بالعكس، ووصلوا عن هذا الطريق إلى التتامية للمحاور الزمانية المكانية والعلية (أو حفظ كمية الحركة – الطاقة).

---

(1) Bohr 1928, 94.

مكتبة الفكر الجديد

من ثم فإن علاقة المنظومة بين الازدواجية الموجية – الجسمية في فهم علاقات بلانك–أينشتين وأينشتين–دي بروي هي وعلاقة هايزبنرج لعدم التحديد وبين حسابات بور التتامية قد يمكن تجميعها فيما يلي:

توصف الظواهر الكمية التتامية بدلالة الكميات الفيزيائية التتامية. وتختص هذه الكميات بأوصاف التتامية الكلاسيكية للجسيمات والموجات التي تنضم معًا في علاقات ازدواجية موجة–جسيم $E = h\nu$ و $p=\hbar k$.

ترتبط هذه الكميات في نظرية الكم عن طريق علاقة هايزبنرج لعدم التحديد وعلاقة عدم التحديد المساعدة الزمن–الطاقة، وقد أحدثت عدم التحديدات هذه أوصاف تتامية للواقع الفيزيائي بدلالة إما التمثيل للمحاور المكانية–الزمانية أو تمثل كمية الحركة–الطاقة، والتي تعود لتشير لتتامية المحاور الزمانية المكانية والعلية، وقد تصاحبت الأخيرة مع حفظ كمية الحركة–الطاقة في تأثير كومتبون في عمليات التشتت المنفردة، واعتبر بور هذا الحساب التتامي ليكون "تعميم طبيعي" للوصف الكلاسيكي للأشياء الفيزيائية[١].

وبعد كل هذا، فإن التتامية تكون مفهومًا عنقوديًّا معقدًا، وطبقا لبور فإنها تنطبق على عدة مستويات مفهومية معبرة عن علاقات بين[٢]:

---

(1) **Bohr 1928, 91.** إضافة إلى ذلك، يُمكن بالتفصيل توضيح أنه اعتبر التكاملية بين الزمكان والتوصيف العلي كتعميم عقلاني لتفسير كانط للواقعية الفيزيائية. انظر برنجه ٢٠٠٦.

(٢) هناك تتاميات أخرى لا تتعلق مباشرة بازدواجية الموجة الجسيم ينبغي إضافتها (انظر بور١٩٢٨وبرينجه ٢٠٠٦): فهناك إمكانية تعريف الموضوعات الفيزيائية=

مكتبة الفكر الجديد

[٠] خصائص الموجة والجسيم للجسيمات دون الذرية كما تم التعبير عنها في:

أ) العلاقات $p=\hbar k$ و $E = h\nu$.

ب) علاقات التشتيت من (٧,٢) في الصورة الموجية، و

ج) علاقة عدم التحديد لهايزنبرج في الصورة الموجية.

[١] الملامح الموجية الجسيمية للظواهر التجريبية:

أ) الظاهرة الكمية لشبيه الموجة وشبيه الجسيم مثل أهداب التداخل ومسارات الجسيم.

ب) المعدات التجريبية الدقيقة مثل الشق المزدوج وغرفة ويلسون.

ج) الموجهة الكلاسيكية المقابلة والصور الجسيمية التي يعبر عنها بدلالة:

[٢] الكميات المكانية–الزمانية والديناميكية:

أ) المحاور الزمانية المكانية وكمية الحركة–الطاقة.

ب) العمليات المكانية–الزمانية وقوانين الحفظ الديناميكية.

ج) "المحاور المكانية الزمانية" و"العلية".

=وقياس خصائصها، والميكانيكا الموجية لشرودنجر ونظرية هايزنبرج في المصفوفات: "وفي الواقع فإن كلتا الصياغتين لمشكلة التفاعل يُمكن القول: إنهما تكامليتين بالمعنى عينه لفكرة الموجة والجُسيم في وصف الأفراد الحرة" (بور ١٩٢٨، ص١١١)؛ وما إلى ذلك.

مكتبة الفكر الجديد

لقد ابتعد بور عن تفسير علاقات عدم التحديد وأوجه التتامية وازدواجية الموجة-الجسيم المهمة في الحدود الاحتمالية. كما تتطلبها تفسيرات بورن العملية لميكانيكا الكم[1]، وخاصة، فهم بور لعلاقات عدم التحديد لهايزنبرج كسبب لتغيرات كمية الحركة غير المتحكم فيها نتيجة القياسات الموضعية والعكس بالعكس الذي ينبئي على تطبيق الصور الكلاسيكية للجسيم والموجة في الاعتبارات المساعدة في العمليات دون الذرية المنفردة، ولقد عرض هايزنبرج بنفسه هذا النوع للسبب المساعد في ورقة بحثه على علاقات عدم التحديد عندما ناقش قياسات الموضع للإلكترون بواسطة وسائل الميكروسكوب الجامي[2]. وقد ظهرت في مناظرة بور-أينشتين وفي اقتراحات فاينمان للميكروسكوب الضوئي[3].

---

(١) لا يذكر بور في محاظرة كومو سوى تفسير بورن الاحتمالي إلا أنه يزعم أن "الميكانيكا الموجية مثلها مثل نظرية المصفوفات تمامًا [...] تُمثل صياغة رمزية لمشكلة الحركة في الميكانيكا الكلاسيكية المتوافقة مع متطلبات نظرية الكم، وأنه لا يُمكن تفسيرها إلا عبر استخدام صريح للمُسلمة الكمية، (Bohr 1928,586; وأيضًا ما أكدته في هذا الصدد).

وانظر أيضًا (2) Heisenberg 1927, 147-175 and 198. Heisenberg 1930b, 21-23

وعلى النقيض من محاضرة بور فى كومو، استفاد بحث هايزنبرج من التفسير الاحتمالي في الحساب الإحصائي لمسار جُسيم (Heisenberg 1927, 186-188).

(3) Bohr 1949; Feynman et al.1965, 1.4-1.9.

انبثقت عن هذه التجربة الذهنية التجارب المؤخرة لتحديد الاتجاه لبصريات الكم؛ انظر: Scully et al. 1991، والفقرتان (٧-٤، ٧-٥).

مكتبة الفكر الجديد

٧-٢-٣ تماثلات هايزنبرج

لقد جعل كتاب هايزنبرج لعام ١٩٣٠ "المبادئ الفيزيائية لنظرية الكم" أفكار بور أكثر دقة، فأكد هايزنبرج أن ازدواجية الموجة – الجسيم تعتمد في تفسير الظواهر الكمية بدلالة التشابهات الجزئية الكلاسيكية، فقد أوضح أن الصور الكلاسيكية أو نماذج الجسيمات والموجات لا تزال تنطبق على الظواهر الكمية، ومع هذا، فقد دون هايزنبرج أيضًا أنه عندما يطبق حد "الجسيم" على سبب مسار الجسيم، فلا يطول في معناه الحرفي، فشرح في متن كتابه لعام ١٩٣٠ المفهوم الجسيمي في الفيزياء دون الذرية كما يلي:

> ظهور مسار قطرات الماء في غرفة ويلسون تمثل مباشرة المسار للجسيم المفرد، وهنا دائمًا ما يفهم الجسيم أو الكرِّية على أنها شيء يتحرك مثل نقطة كتلية في الميكانيكا الكلاسيكية[1].

وهنا أدخل مصطلح "جسيم" بدلالات التماثل، بالنسبة إلى هايزبنرج يكون الجسيم شيئًا ما والذي يتحرك مثل نقطة كتلية كلاسيكية، وهذا التعريف يكون عمليًّا، والمسار الجسيمي يكون ظاهرة مشاهدة في غرفة ويلسون، والظاهرة تحقق تقريبًا قانون قوة لورنتز الكلاسيكي. والجسيم دون الذري أو الحالة الكمية التي تحدث الظاهرة تفهم بدلالة المسار والقانون من الوجهة الميكانيكية التي تصفه، وفي هذا الطريق فإن المفهوم الجسيمي الكلاسيكي لا يزال يطبق على الظاهرة الكمية للمسار في غرفة ويلسون، ولكن التطبيق

---

(1) Heisenberg 1930a,4; وترجمتي.

علمًا بأن النسخة الإنجليزية أكثر إيجازًا هنا. إذ لا تحتوي على أي شرح لمفهوم الجُسيم؛ أنظر: Heisenberg 1930b,4.

مكتبة الفكر الجديد

فقط يكون له خاصية التماثل، وينظر للمسار كما لو كان نتيجة أنه يقابل نموذجًا كلاسيكيًّا من الوجهه الميكانيكية والشيء نفسه يكون حقيقيًّا للظاهرة التتامية التي تظهر خاضعة للشروط التجريبية الأخرى التي تسمى في تجارب الحيود، وأنها تقارن مع الموجة الكلاسيكية، ولكن كما أظهرها هايزنبرج فإن مقارنة الشيء الكمي مع الجسيم الكلاسيكي أو الموجة تكون ضعيفة دائمًا، ولا يعطي التناظر الكلاسيكي وصفًا نظريًّا مضبوطًا.

> أصبح الآن من الواضح أن الشيء لا يُمكن أن يُشكل حركات موجية وأن يكون مكونًا في الوقت نفسه من الجُسيمات – فالمفهومان مختلفان إلى حد بعيد. [...] وكحقيقة واقعة، فمن المؤكد تجريبيًّا فقط أن الضوء يسلك أحيانًا كما لو كان يتمتع ببعض سمات الجُسيم، إلا أنه ما من تجربة تُثبت أنه يتمتع بكل خصائص الجُسيم؛ ويمكن قول الأمر نفسه بالنسبة إلى حركة المادة والموجة. إن حل الصعوبة يكمن في أن كلتا الصورتين الذهنيتين التي تشكلت لدينا عن طريق التجربة – واحدة للجُسيمات، والثانية للموجات – ليستا كاملتين ولها فقط صلاحية التماثلات التي لا تكون دقيقة إلا في حالات مُحددة[1].

لم يكن في استطاعة الصورة الجسيمية الكلاسيكية ولا الصورة الموجية الكلاسيكية أن تقنص كل الظواهر التجريبية للإلكترونات أو الجسيمات دون الذرية الأخرى، إنها تستطيع فقط قنص جزيء مهم، الصور التتامية للموجات والجسيمات يتم احتياجها حتى يتم شرح التجارب، ومع ذلك

---

(1) Heisenberg 1930b,10; similarly, Heisenberg 1930a,7.

مكتبة الفكر الجديد

فإن الصورتين غير مكتملتين لاعتبارين، الأول في أنه لم تثبت التجارب أن الضوء أو المكونات دون الذرية للمادة لها جميع خصائص الجسيم أو الموجة الكلاسيكية، والاعتبار الثاني هو أن الصور التتامية للجسيمات والموجات غير مكتملة أيضًا، وأنهما لم يعطيا فهمًا كاملاً للضوء أو المادة، وقد توقفا عند التناظر، وبالتالي تحققا بشكل تقريبي فقط بقدر ما قابلت الظواهر الكمية الظواهر الكلاسيكية ونماذجها، وهنا يبعد هايزنبرج عن متطلب إعطاء التناظر الكلاسيكي حسابًا متكاملاً في حقل الكم، وعلى نحو معارض إلى حد بعيد فقد أكد أن كلاهما غير مكتمل.

لقد أصبح واضحًا اليوم أن الظواهر الكمية التي تقابل صورة الموجة أو الجسيم الكلاسيكية لم تعالج الحقل الكمي، ويوجد عدة ظواهر كمية دون أيْ مقابلة. أو تناظر كلاسيكي، وتوافقت بدقة رؤى هايزنبرج حول ازدواجية الموجة – الجسيم مع هذه الحقيقة.

٧-٣ صياغة الموجات ورصد الجسيمات

التفسير " التقليدي " أو تفسير "بورن- فون نيومان" لميكانيكا الكم هو فى كونه احتماليًا[1]، وأنه يشكل أساسًا فى مهنة الفيزياء ويتم تعلمه في الجامعات ويتشارك فيه جميع الفيزيائيين من غير خلاف بالنسبة إلى فيزياء الكم، وبوضوح لم يتماثل التفسير الاحتمالي مع تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم، فالأخير يعتمد على محاضرة كومو لبور وكتاب ١٩٣٠ لهايزنبرج في

(1) Born 1926a,b; von Neumann 1932.

مكتبة الفكر الجديد

ميكانيكا الكم ومناظرة بور– أينشتين[1]، لقد وضح في البند السابق اتجاهان مختلفان في نقطتين، تفسير كوبنهاجن التي وافقت التفسير الاحتمالي ولكنها تهمل بعض نتائجها الحاسمة، وفوق الكل فإنها تهمل فكرة أن ازدواجية الموجة – الجسيم وعلاقات هايزبنرج لعدم التحديد التي مبدئيًا لها أرضية احتمالية، وقد ركز بور وهايزبنرج على احتمالية تطبيق هذه المفاهيم للعمليات الكمية المنفردة بدلالة التناظر والمقابلة والتتامية، ومن ثم وظف تفسير كوبنهاجن الجسر الموحد للمبادئ التي تمت مناقشتها في فقرة (٥-٤) ناهيك عن مفاهيم بورن الاحتمالية.

وبالعودة للتفسير الاحتمالي لم يعد يعتني بمثل جسر المبادئ الذي يعبر حقًا عن العلاقات النظرية المتداخلة وبالأحرى مظاهر نظرية الكم نفسها .

لقد شرح تفسير احتمالية بورن ل $|\Psi|^2$ و فرض تصور فون نيومان كيف تكون علاقة بديهيات الميكانية الكمية مع الظواهرالتجربية، فأرجعت الدوال الموجية المختصة بالتركيب البديهي والعد الجسيمي إلى المحتوى العملي للنظرية، وتملأ الفجوة بينهما فقط عند مستوى الأداء الموحد للعديد من العد الجسيمي.

لقد ذهبت في الفصول السابقة إلى أنه دون المبادئ التوحيدية فإن المحتوى التجريبي لميكانيكا الكم ونظرية مجال الكم يكون جد ضئيل. وعلى وجه الخصوص فإن تفسير بنية ما دون الذرة وتأسيس مقاييس الكميات

---

(1) Born 1928; Heisenberg 1930; Einstein et al. 1935; Bohr 1935; Bohr 1949.
وفقًا لهوارد ٢٠٠٢، وأيضًا هايزنبرج؛ فقد كانت آراء ما بعد الحرب بشأن عملية القياس حاسمة لما سُمي في نهاية المطاف تفسير كوبنهاجن.

مكتبة الفكر الجديد

الفيزيائية يتضح أنه يرتكز على استخدام ضمني لمبدأ التناظر التعميمي بمعناه لدى بور وغيره من المبادئ التوحيدية[1]. لقد زعمت أن ثمة الكثير من الاستخدام الضمني لشيء شبيه بمبدأ التناظر التعميمي لدى هايزنبرج، خصوصًا حين يتم تطبيق دالة موجة ميكانيكا الكم على الأنساق الفردية. وفي هذا الصدد نجد أن تفسير كوبنهاجن يحمل معنى أكثر تجريبية من التفسير الإجرائي الضيق لبورن–فون نيومان. وفي واقع الأمر فإنه يدخل في الكثير من اعتبارات الموجهات المساعدة[*] heuristic لفيزياء الكم. علاوة على ذلك فإن تطبيق الموجه المُساعد لمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج لعمليات تشتت فردية دون ذرية هو أمر معتاد تمامًا؛ حتى إن كان الفيزيائيون يعلمون أن الدقة تفترض أن له معنى احتماليًّا. لا تقدم الكتب المدرسية ولا الأبحاث هذا الأمر في صورة صريحة. وباستثناء مبرهنة إرينفست فإن المبادئ الجسرية التي يتم توظيفها في تطبيق وظائف موجة ميكانيكا الكم على الأنساق الفردية أو

---

(١) انظر الفقرات من (٤-٢ : ٤-٥)، و(٥-٤، و٥-٥).

(*) قام فيلسوف العلم المجري إمري لاكاتوش بتقديم إطاره النظري لمنهج العلم؛ فذهب إلى أنه في برنامج البحث العلمي ليست كل النظريات العلمية سواء، فهنالك أولاً النواة الصلبة **hard core** للبرنامج، وهي لا تخضع في حد ذاتها للتكذيب ولا تقبل التفنيد، فهي فرضيات عامة جدًّا تمثل صلب برنامج البحث. ثم هناك الفروض المُساعدة التي تمثل الحزام الواقي الذي يتعرض للاختبار التجريبي ويحتمل التعديل والتصويب. ثم هناك فضلاً عن النواة الصلبة والحزام الواقي؛ الموجه المُساعد على الكشف **heuristic** الذي يُعين القواعد المنهجية ويرسم مسار عمل العلماء. للمزيد عن إمري لاكاتوش انظر: يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، الهيئة المصرية العامة للكتاب ٢٠٠٩، ص٤٥٢-٤٦٣. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

من أجل تأسيس نماذج شبه كلاسيكية لم يتم شرحها قط. ويبدو أن الفيزيائيين لا يحتاجون مثل هذه الشروحات. ولكن لماذا؟ ماذا يعتقدون بشأن وظيفة موجة ميكانيكا الكم التي يبحثونها في تجاربهم؟

لقد وجد الكثير من القائمين على التجريب طريقة غير متقنة لشرح ازدواجية الموجة الجُسيم على النحو التالي. لقد ادعوا في تجربة فيزياء الكم أنهم قاموا بتحضير الموجات وقياس الجسيمات، ومن ثم، تحدثوا عن احتمالية موجات ميكانيكا الكم الزائف كما لو كانت حقيقية وأشياء فيزيائية منفردة التي تستطيع أن تؤثر في التجارب، حتى إنهم تكلموا في الطريقة نفسها حول صيغ المجال الزائف للمجالات الكمية، وحقًّا فإن هذا يذكر بالمعيار الحقيقي لهاكينج والذي تمت مناقشته في سياق مناظرة المذهب الحقيقي ومفهوم شبه الجسيم (QP) في الفصلين الثاني والسادس (فقرة ٢-٣، وفقرة ٦-٤). هل الموجات الكمية حقيقية لأن الفيزيائيين استطاعوا نثرها؟ سأعود للسؤال الحاسم الأخير[1]، ودعني لحظة لمجرد التعرض لحالة الطريقة الزائفة لموجات الكم الذي ركز فيها الفيزيائيون، وهي الفلسفة الضمنية للجسيم الفيزيائي وهي بالتالي ذات قيمة بحيث تجعلها ضمنية.

أكد "فولفجانج كيتيرله" الحاصل على جائزة نوبل ذات مرة على هذه الفلسفة البراجماتية لفيزياء الكم في حديث مُبسط حول تكثيف condensate بوزيه-أينشتين. فقد أخبر العامة أن فهم ميكانيكا الكم أمر في غاية الصعوبة، ولكن بعد سنوات عديدة من الممارسة الفيزيائية فإن المرء يصير معتادًا على

---

(١) انظر الفقرة (٧-٦) والمُحصلات العامة بشأن السجال حول الواقعية في الفقرة (٨-١).

مكتبة الفكر الجديد

إعداد الموجات واكتشاف الجُسيمات[1]. في هذه العبارة اللطيفة يتم فهم كل من الإجراءات التجريبية للتحضير وللقياس بوصفها عمليات تجريبية، إلا أنها تُعتبر مُختلفة.

٧-٣-١ ما الذي يصنع الفارق؟

بنظرة أقرب من هذا التفسير لازدواجية الموجة–الجسيم يظهر أنه يتأسس على البديهيات والجوانب الإجرائية لنظرية الكم التالية:

(أ) التفسيرات الاحتمالية العادية لنظرية الكم، (ب) اللا تناظر لمحاور الزمان المكاني ومستويات كمية الحركة، و(ج) اللا تناظر الناتج للإعداد والرصد:

أ) **التفسيرات الاحتمالية العادية لنظرية الكم.** لكي نحصل على تعريف محدد للعد الجسيمي والذي يقابل جسيمًا وكتلة معينة وطاقة ولفًّا وأخيرًا الشحنة لا بد من إعداد تعريف محدد لمستوى الكم $|\Psi\rangle$ وقياس المشاهد [٠] في هذا المستوى، وينجز الإعداد والقياس عادة عن طريق الأجهزة التجريبية المتنوعة، وتعطى نظرية الكم القيمة المتوقعة $\langle\Psi|O|\Psi\rangle$ والاحتماليات $|c_k|^2$ لقياس القيم المميزة O_k للمشاهد O، وتقابل هذه الاحتماليات الترددات النسبية لقيمة العد الجسيمي المفرد O_k. مأخوذًا في نهاية العديد من القياسات اللا نهائية للعد الجسيمي،

---

(١) عن الخطاب الملقى فى اللقاء السنوي للجمعية الفيزيائية الألمانية بهانوفر فى مارس ٢٠٠٣.

مكتبة الفكر الجديد

ومن ثم يوجد عمليًّا عدد معين من العد الجسيمي لنوع معين نسبة إلى تسوية (تطبيع) المستوى الكمي المعد. وفي تجارب تشتت الطاقة العالية يكون هذا الرقم من العد نسبة إلى شدة الشعاع الجسيمي (المسمى الفيض الجسيمي)[1]. وهذا هو التردد النسبي. وهو يقابل الاحتمال الانتقالي بين المستويات الكمية. وبديهيًّا، يوصف هذا بدلالة القيم المتوقعة للمؤثرات التي تؤثر على الدوال الموجية وصيغ المجال أو على مصفوفة -S.

ب) لا تناظرية محاور الزمكان وحالات كمية الحركة. في فراغ هيلبرت، يتساوى تمثل المستوى الكمي في محاور الزمكان أو في فضاء كمية الحركة، وهذا مجرد اختبارات محددة للاختيار من الأساس، ويكون مستوى كمية الحركة القاطع (الحاد) مرتبطًا بتحول فورير لتراكب العديد من المستويات اللا نهائية في التمثيل الموضوعي، والعكس بالعكس. وفي هذا الاعتبار، يكون تمثيل محاور الزمان مكان وكمية الحركة متماثلة تمامًا. ومع هذا فإن في قوانين الكم الديناميكي يفضل مستويات كمية الحركة، طبقًا لمعادلة شرودنجر لميكانيكا الكم غير النسبوية يمتد عرض أي رزمة موجية ذات توزيع مكاني محدود وكمية حركة محدودة بينها في الموجة المستوية لكمية الحركة القاطعة (الحادة) p أو العدد الموجي $p=\hbar k$ ذات التوزيع المكاني غير المحدود يكون مستقرًّا، وتفضل أيضًا أن تحسب مصفوفة -S لتفاعل المجالات الكمية بدلالة مستويات كمية الحركة الداخلة والخارجة، في الفرق التميزي

---

(١) انظر تعريف مساحة المقطع الكلية لتفاعل جسيم فى الملحق (جـ).

مكتبة الفكر الجديد

للأعداد المائلة للشواغر والأطوار وقوة المجال في محاور الزمان المكان المعطى، وكمية الحركة تكون ملاحظة معروفة جيدًا للمستوى الكمي للجسيم الحر عند الخط التقربي (عند المالانهائية). بالنسبة إلى جميع الأغراض العملية قد تعتبر المستويات الموضعية موجودة بعد القياسات الموضعية فورًا، لكنها لم تكن مستقرة طبقًا لمبادئ النسبية المحددة أو المستويات الكمية المحلية غير المحددة تكون مستحيلة حتى (غير ممكنة)[1] ، ومن ثم يكون التمثيل الطبيعي بدلالة مستويات كمية الحركة حتى لو أن الجسيمات تكون متمركزة تقريبًا عن طريق القياسات الموضعية وتصفهم نظرية الكم بدلالة الموجات والرزم الموجية التي تتقدم في مستويات كمية الحركة قبل العد وبعده.

ج) **اللا تناظر الناتج للإعداد والرصد.** كنتيجة مباشرة لعدم تناظر محاور الزمكان ومستويات كمية الحركة المفضلة والأعداد والعد لمستويات الكم تكون أيضًا غير متناظرة، وبالنسبة إلى الأغراض من الطرق التجريبية والمستقرة فتعد مستويات الكم المعاد إنتاجها، وتخص هذه النظرة النافذة معرفة الخلفية النظرية الآمنة لجميع تجارب فيزياء الكم. وبعد خطوات الإعداد يتوقع وجود موجات مستويات مستقرة (تقريبًا) لمستويات كمية الحركة القاطعة، وفي الغالب لفترة زمنية قصيرة بعد العد، (تقريبًا) يفترض أن توجد مستويات مجالية محددة، وبالتالي فخطوات إعداد الفيزياء دون الذرية كانت هدفًا عند إعداد الجسيمات أو الإشعاعات الجسيمية للنوع الديناميكي المعطى في مستويات كمية

(1) Clifton and Halvorson 2002.

مكتبة الفكر الجديد

الحركة والطاقة المعرفة جيدًا[1]، حينئذ تقاس فقط الجسيمات أو مستويات الكم المحلية تقريبًا، وقد يحدث هذا عن طريق وسائل اللوح الفوتوغرافي وشاشة الوميض والميكروسكوب الإلكتروني الذي يقوم بعملية المسح لتركيب شحنة السطح أو العداد الجسيمي، حقيقي أن الإعداد والقياس يسيران على خطى الخطوات التجريبية، وفي التطابق مع الفرض المتصور لميكانيكا الكم[2]، فكلاهما يقلل الدالة الموجية لبعض من الحالة المميزة للجزء الملاحظ، وتقللها الموجة المعدة إلى حالة كمية حركة معرفة- جيدًا إلى عرض كمية حركة صغيرة جدًّا، والرصد الجسيمي يقللها إلى رزمة موجيه محلية تقريبية، ومع هذا فإن كلتا الخطوات لها أهداف مختلفة، فيهدف الإعداد إلى إنتاج مستويات كمية حركة للإلكترونات والفوتونات ... إلخ لشعاع الجسيم المعجل أو الليزر الحاد قدر الإمكان. إن الرصد والقياس الجسيمي يهدفان إلى تمركز الجسيمات لكتلة وشحنة ولف معرف جدًّا في منطقة زمانية مكانية معرفة – جيدا[3].

حقيقة تتطابق اللا تناظرية والرصد مع الظواهر الكمية الماكروسكوبية التي درست في العقود القليلة السابقة، تفقد هذه التجارب جميع

---

(١) وحتى بالنسبة إلى الذرة الممسوكة فى مصيدة ومن ثم تكون متموضعة، لا يُمثل الموضع أمرًا مهمًّا. فما يهم هو تحديدًا مستويات طاقتها.

(2) Von Neumann 1932.

(٣) إذا ما قيست فقط كمية الحركة أو الطاقة، فإن هذا لن يكون ممكنًا إلا تقريبيًّا فقط. ومع ذلك، فعادة ما تعطي الأجهزة التجريبية أخطاء قياس أكبر عشرة أمثال علاقة عدم التحديد.

مكتبة الفكر الجديد

ملامح التناقض كلما أخذت خصائص احتمال الازدواجية الموجية الجسيمية في الحسبان، وهذا على وجه الخصوص يربط ترابطات EPR الشهيرة[١]، من مظهر التجربة أن يتم إعداد الدالة الموجية لحالة فوتونين متشابكين؛ حيث إنه بعد فترة زمنية يتم رصد جسيمين؛ أي تقيس العدادين الجسيمين مركبات اللف أو مستويات الاستقطاب للفوتونات عند الإزاحة شبه – الفضائية واتصال الفروع المختلفة للتجربة عن طريق الكاشف الترابطي. تتنبأ نظرية الكم بأن متباينة بيل ستنتهك في مناطق حركية معينة، ومع هذا لكي نثبت هذا فمن الضرورة رصد عدد كبير لأزواج فوتونية مترابطة في استقطابين مختلفين وكل هذا معرف جيدًا، وفي هذا السياق الحالي نقطة واحدة فقط هي التي تهم، فقط تم تنبؤ نظرية الكم بدلالة ضرب ممتد الدالة الموجية التي تصف مستوى الجسيمين المتشابكين، ويكون لمربع سعة الموجة معنى احتمالي تقليدي؛ أي أنها تتنبأ بالتردد النسبي للقياس الناتج، إضافة إلى تنبؤها بتحقق قانون الحفظ المقابل عند مستوى العمليات المنفردة أو الحصر الزوجي. (هذا ما ركز عليه بورن فعلاً) في عام ١٩٢٦ عندما دون بطريقة مماثلة حفظ مقادير الطاقة وكمية الحركة "تنتقل كما لو كانت كريَّات حقيقية تطير في كل جهة"[٢]. إن نتائج القياس الحاسمة التي أثبتت أن متباينة بيل المنتهكة أمكن الحصول عليها عند المستوى الاحتمالي وأعطوا بدلالة الدوال المترابطة للترددات النسبية للعدد الجسيمي المترابط .

---

(١) انظر: Einstein et al.1935; Aspect 1982.

(2) Born 1926b, 803.

مكتبة الفكر الجديد

ومثال آخر هو قياس تكثيف بوز-أينشتين[1]. وقد ادعى كيتل أنه يمكن في فيزياء الكم إعداد الموجات ورصد الجُسيمات وقد حصل على جائزة نوبل عن التجربة، وسوف نناقش المزيد من الأمثلة فيما سيلي.

وبعد كل هذا يبدو الحساب الناتج للازدواج الموجي –الجسيمي بتطبيقه فقط عند مستوى العمليات دون الذرية المنفردة، وتظهر النظرة القريبة بأنها تأتي في حدود عملية تمامًا، وهي تتبني على إمكانيات تجريبية لأشباه جسيمية متولدة ومستويات شبه موجية كمية وظواهر، بالإضافة إلى أنها دعمت عن طريق التفسير الاحتمالي المعتاد لنظرية الكم، تقاس خصائص شبه الجسيم لظواهر الكم عن طريق العداد الجسيمي أو الشاشة التي تحصر الفوتونات المفردة أو الإلكترونات، وتصبح خصائص شبه الموجة واضحة من حيود الإلكترون أو شعاع الفوتون عند البلورة أو الشق المزدوج الذي يحدث نمط التداخل المشاهد، وكي تنجز تجربة الشق المزدوج نحتاج إلى ضوء ليزر وحيد الطول الموجي متسق أو شعاع إلكتروني ذى توزيع كمية حركية صغيره جدًّا والذي يأتي قريبًا من موجة مستوية، وبهذه الطريقة يكون استحضار الموجة في مستوى كمية حركة حادة معرفًا جيدًا.

حينئذ ترصد الشاشة الموضوعة خلف الشق المزدوج الفوتونات أو الإلكترونات غير المرتبطة، وبهذه الطريقة تُحضَّر الموجة وتعد الجسيمات في المفهوم الإجرائي (OP) للفصل السادس فقرة (٦-٣)، وطبقًا للتفسير الاحتمالي لنظرية الكم في نهاية لا نهائية للعديد من الأحداث المتكررة نسبيًّا للعد الجسيمي المقابل لمربع سعة الموجة الحائدة، وإذا أجريت مثل هذه

---

(١) انظر: Dürr 2006.

مكتبة الفكر الجديد

التجربة لساعات وساعات لوحظ أن العد الجسيمي يصنع نمط تداخل شق مزدوج مماثل، والأكثر دهشة أن أهداب التداخل ظهرت فقط عند المستوى الاحتمالي، من عديد الرصد الجسيمي المنفرد[1] وأنها عرفت جيدًا بأن ذلك يختلف ماديًا من مجموع نمط حيود الشق الواحد.

في مثل هذه التجربة تستحضر الإلكترونات والفوتونات كموجات عن طريق جهاز الشق المزدوج في حين أنه عند الشاشة فإنهم يتموضعون أو يتم عدهم كجسيمات، وفي نمط التداخل الذى يظهر بعد رصد العديد من الجسيمات، وتظهر خصائص شبه الجسيم وشبه الموجة عند المستوى الاحتمالي، حقيقة في جميع التجارب التي تطبق الظواهر الكمية الماكروسكوبية والنظام الكمي تحت الفحص يكون إعدادها في حالة كمية لشبيه الموجة المعرفة- جيدًا والتي تتقدم في طريق معرف جيدًا متطابق مع بعض قوانين الديناميكا الكمية. ولكن يمكن الحصول على نتائج القياس فقط عن طريق العد الجسيمي في القياس عالى الدقة على الأقل، وأن مربع سعة الدالة الموجية يتنبأ باحتمالية عد الجسيمات في المستويات المعطاة. وأن شبه الموجة أو الملامح غير المحلية للظواهر الكمية أصبحت واضحة فقط في التكرار النسبى للعد الجسيمي، ومن ثم فإن القول الفصل فى إعداد الموجات وعد الجسيمات معبر عن الملامح غير الموضعية لنظرية الكم على الخلفية الآمنة للتفسير الاحتمالي وتكون تجربة الشق المزدوج بالإلكترونات المفردة أو الفوتونات حالة نموذجية لمثل هذه التجارب.

---

(١) تجربة الشق المزدوج ذات الإلكترونات المفردة الواردة على سبيل المثال في: Greenstein and Zajonc 1997, 1-7.

مكتبة الفكر الجديد

ومع هذا، تعد الموجات أو مستويات كمية الحركة الحادة عن طريق جهاز تجريبي بطريقة قياس غير مباشرة، ومن وجهة النظر العملية الصرفة فإن ذلك أحدث احتمالات مشروطة، ولكن بدت عدة خطوات تحضيرية لإنتاج أكثر من احتمالات مشروطة، تسمى نوعًا ما لوجود متفردات من دون الذرات الزائفة، وقد استوضح ذلك الآن في صورة تجريبية مثيرة بفوتونات مفردة، وقد استبعدوا فكرة مسار الجسيم أو المسار.

٧-٣-٢ فوتون واحد من مصدري ليزر

في فهم معين لتجارب مثيرة للضوء الكمي الحديث يتم إعداد جسيمات منفردة تسمى شعاع الإلكترونات أو الفوتونات منخفضة الشدة ولكي نحصل على عد جسيمي منفرد يتم تخميد شدة الشعاع بشدة. وحتى تخمد أكثر يبقى إلكترون أو فوتون واحد فقط في موجة المادة أو مجال الإشعاع، وقد يستعمل أيضًا قاذف الإلكترون أو ليزر قصير النبض والذي يظهر الرزم الموجية في مستويات متسقة، وأنها تستطيع حتى إعداد مجال فوتونى في مستوى رقمي حاد، ويمكن أولاً تحضير الفوتونات المفردة في المستوى الرقمي الحاد فقط عن طريق توليد زوج فوتوني مرتبط (EPR) ورصد الفوتون الآخر[١]، وهذا التحضير كان مصحوبًا بوضوح مع القياس، ويمكن اليوم توليد فوتونات مفردة دون أي تعقيد وقياس لاحق[٢]، ويمكن أن يظهر لنا أن في هذه الحالة

---

(1) Grangier et al.1986.

لمناقشة المصادر المختلفة للضوء الفوتونى المفرد انظر: Greenstein and Zajonc 1997, 32-35.

(2) Keller et al. 2004.

مكتبة الفكر الجديد

الجسيمية يمكن إعدادها للموجات، وتنتشر الرزم الموجية للإلكترون المفرد بعد القياس الموضعي تجاه الموجه المستوية، ومع هذا، فإن المستوى الرقمي الفوتوني الحاد يكون معرفًا بما يتعلق بصيغة المجال لمستوى الموجة وتبقى في مستوى رقمي حاد كلما أمكن بغض النظر عن تغير التحضير وعن عدم عمل القياس وحدوث أي عملية امتصاص أخرى. هل تكون هذه الحالة ضد المطلب السابق بأن ترصد الموجات؟ ولنضعها في حدود مختلفة: هل يكون بالإمكان أن تعد تجربة الفوتون المفرد جسيمًا مناسبًا بمسار معرف جيدًا وبتاريخ على غير ملتبس يربط الإعداد بالرصد؟ (وهذا ما يفترض من النظريات المتغيرة المخفية).

ومع هذا، فإن هذا الافتراض لا يمكن الدفاع عنه أو الاحتفاظ به بالنسبة إلى تجربة فليجور – ماندیل، التي أنجزت في ١٩٦٧[1]. لقد أجريت تجربتان منفصلتان لتداخل الليزر في زمن اتساق مقداره 20μs خلال إمكانيتهما بالاحتفاظ بطوريهما في حالة اتساق وأعيدت القياسات مع نبضات الليزر لهذه الفترة من عمل تجربتي الليزر كلتيهما وتم تسجيلهما وتحليلهما. وقد أظهرت هذه النتائج التداخل، حينئذ، أضعف الليزر كثيرًا في كل قياس باحتمالية كبيرة جدًّا؛ لأنه يتبقى فوتون واحد في مجال الإشعاع للتجربة، وما زالت تظهر النتائج ضعفًا ولكن بأهداب تداخل ذات مغزى، وهذا يعني

---

(1) Pfleegor and Mandel 1967.

وانظر: **Greenstien and Zajonc 1997, 43**

(العنوان المُلائم "فوتون واحد من مصدري ليزر" لهذه الفقرة مأخوذ من هناك) والمناقشة هناك من ص٤٣-ص٥٣.

مكتبة الفكر الجديد

أن الموجات أو صيغًا تتولد عن طريق التداخل الليزري، محدثة مستوى متشابكًا $\Psi_1 \otimes \Psi_2$ حتى لو كان عدد الإشغال لمجال أو مجالات الفوتون التداخلي يساوي واحدًا (١) فقط، تشرح نظرية مجال الكم هذه النتيجة بدلالة تراكب صيغ المجال التداخلي لعدد الإشغال صفر (٠) و(١) . ويتكون التراكب من فوتون واحد آت من مصدر الليزر L_1 ولا يأتي فوتون من الليزر الآخر L_2، والعكس بالعكس:

$$\Psi 1 \otimes \Psi 2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1_1\rangle|0_2\rangle + |0_1\rangle|1_2\rangle). \qquad (7.3)$$

وهذا يكون واضحًا في صورة الموجة. أما في صورة الجُسيم فقد كان ثمة يأس كامل في تفسير النتيجة. فعليًّا ليس ثمة رواية علية واضحة المعالم للفوتونات المفردة التي يتم رصدها على الشاشة والتي تصنع في المدى الطويل نمط تداخل. وفي صورة الجُسيم الكلاسيكي يُفترض أن كل فوتون سواء أتى من ليزر L_1 أو من الليزر الآخر L_2 ، ولكن حينئذ لا يمكن حدوث تداخل. وقد أوضحت الظاهرة الكمية أنه يجب إعداد جميع الفوتونات بطريقة ما في كلتا تجربتي الليزر. إنهما ليسا خليطًا ولكنهما في حالة تراكب (٧-٣). وأن خليط الفوتونات الناشئ إما من الليزر الأول أو من الليزر الثاني لا ينتج عنه تداخل. ولكن هذا يعني أن الفوتونات المفردة التي يتم تعيينها ليس لها مسار محدد ولا رواية علية واضحة المعالم. ولا يُمكن تفسير النتائج التجريبية إلا على خطوط التفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم. ومن ثم، فإن تجربة بفليجور – ماندل تقوم بتحضير الموجات وتعيين الجُسيمات بالمعنى الموضح عاليه.

مكتبة الفكر الجديد

٧-٣-٣ فوتونات مستقطبة

إن الطبيعة الموجية للفوتونات لم ينتج عنها فقط ظواهر التداخل. فقد ظهرت أيضًا في تجارب الاستقطاب. ففي نظرية مجال الكم، يكون الاستقطاب درجة داخلية من الحرية في وصف الفوتونات المفردة. وفي النظرية الكلاسيكية للإشعاع يكون الاستقطاب خاصية موجية مُصاحبة للطور النسبي لمركبات قوة المجال الكهربي. ثمة تجربة بسيطة وإن كانت مدهشة لاستقطاب الفوتونات المفردة مشابهة لاستقطاب الموجات الكهرومغناطيسية الكلاسيكية بالمستقطبات المتقاطعة. فعند أدائها بالضوء الأبيض التقليدي العادي، يتضح أن الضوء يتكون من موجات وليس جُسيمات. وعند أداء التجربة بالفوتونات المفردة، فإنها تكشف عن السمات غير الموضعية لمجال الكم.

دع الضوء الأبيض الصادر من مصدر ضوء حراري عادي يمر خلال ثلاثة مستقطبات متتالية $P_{|}$, $P_{/}$, P_{-} والتي تتقاطع كل واحدة مع الأخرى عند الزاويتين ٤٥ و ٩٠، عند الشاشة خلف P_{-}، نشاهد ما إذا كان الضوء يمر خلاله أم لا، وخلف المستقطب $P_{|}$ يستقطب الضوء في الاتجاه العمودي، وخلف $P_{/}$ فإنه يستقطب عند 45 درجة نسبة إلى $P_{|}$ و خلف $P_{|}$ فإنه يستقطب أفقيًا إذا أزيلت $p_{/}$ فإن المستقطبين المتبقين يكونان عموديين على بعضهما ولا يمر الضوء في -P، وحينئذ لا يرى شيء على الشاشة. حتى في الحالة الكلاسيكية من المذهل أن ترى الضوء يظهر على الشاشة ويختفي عندما يوضع المستقطب الثاني بالداخل والخارج .

مكتبة الفكر الجديد

يتحقق الكم المتناظر مع الشعاع الضوئي منخفض الشدة الآتي من الليزر قصير النبض والذي يبعث فوتونات مفردة، لقد نوقشت ظاهرة الكم المقابلة أولاً في متن كتاب ديراك عن ميكانيكا الكم[1]، وبديلاً عن الشاشة الضوئية لتجربة الاستقطاب الكلاسيكية فقد وضع عداد فوتوني حاليًا خلف المستقطبات المتتالية بحيث يكون شدة الشعاع (أو زمن النبض لليزر النبض القصير) من الانخفاض بحيث يكون متوسط واحد فوتون غالبًا عند هذا الزمن في المجال الإشعاعي، ومع ذلك فهذا لا يعني بالضرورة أن مجال ماكسويل المكمم في مستوى عددي معرف – جيدًا ذى عدد إشعاعي واحد (١)، وهذا يعتمد على الإعداد حتى إذا تم التحضير عن طريق أجهزة مناسبة صيغ مجال ذو عدد إشغالي واحد (١) وأن أي مستقطب يحطم هذا الإعداد إذا لم تتوافق بالضبط مع مستوى استقطاب الفوتون، وبصفة عامة فإن المستقطب $P_{|}$ يعد التراكب ناهيك عن المستوى العددي المعروف – جيدًا لمجال الفوتون.

بالمقابل لصورة الموجة الكلاسيكية، تتنبأ نظرية الكم بأنه يتم عد الفوتونات المفردة خلف p_{-} إذا وإذا فقط وضع المستقطب الثاني $P_{/}$ في الداخل، وكان هذا مدهشًا في حالة الكم، يكون للمستقطبات تأثير فيزيائي واضح لاختيار فوتونات ذات استقطاب معطى، وتقوم بامتصاص جميع

---

(1) Dirac 1958, 4-7.

ويمكن العثور على محاكاه حاسوبية ملائمة في:

http://www.physik.uni-muenchen.de/didaktik/computer/interfer/

مكتبة الفكر الجديد

الفوتونات باستقطاب عمودي، وهذا يبدو كونه مقاسًا، ولكن، كيف تستطيع ثلاثة ممتصات أن تدع الفوتونات المفردة تمر وأنها لا تستطيع أن تمرر اثنين منهم؟ والإجابة جاهزة ومعطاة سالفًا. وتعد المستقطبات صيغ شبه الموجة والتي يكون فيها العدد الإشغالي لمجال الكم غير معرف جيدًا، وأنها تعد المجال المختلف تمامًا مع أو دون المستقطب الثائي P/، .ومع هذا، يقيس العداد الفوتوني متوسط العدد الإشغالي عن طريق عد الفوتونات المفردة .

يتكون الضوء الكمي من فوتونات ذات عدد موجي k، والآن لندع مستوى الفوتون $\Psi_{k,1}$ يمثل صيغة المجال لهذا العدد الموجي K والعدد الإشغالي واحد (١)، وقبل أن يصل عند نظام المستقطبات فإنه لا يعرف أو لا يعرَّف استقطابه، وبالنسبة إلى مجال الكم فإن العدد الإشغالي والطور لا يستطيعا أن يكونا بحدة أو معرفين – جيدًا في الوقت نفسه. ومع هذا، فإن الخصائص العالية غير الكلاسيكية للضوء منخفضة الشدة لا تؤثر في وصفه بدلالة صيغ مجال شبه الموجة والتي تكون مشغولة بالفوتونات ذات الاستقطاب المعروف – جيدًا. ومع هذا، فإن المستوى المعروف استقطابه جيدًا يكون مستوى معرفًا فرق الطور – جيدًا، ومن ثم فبعد إعداد الاستقطاب الجديد لصيغة المجال فإن العدد الإشغالي لصيغة المجال لا يستطيع طويلاً أن يكون حادًّا أو معرفًا – جيدًا. وتصف نظرية مجال الكم تأثير المستقطبات بدلالة مؤثرات المجال لإفناء كمات المجال المستقطب وتخليقه، $a|,a_|^+;a/,a_/^+;a-,a_-^+$ ، وتعد المستقطبات $P_|,P_/orP_-$ ، مستويات الاستقطاب $\Psi_|, \Psi_/, \Psi_-$ ولندع مؤثرات المجال المقابلة لهذه التأثيرات أن تكون $P_|,P_/,P_-$.

مكتبة الفكر الجديد

خلف أول مستقطب P_{45° يكون الضوء مستقطبًا في الاتجاه العمودي، ويكون في المستوى الكمي P_1. Ψ_1 مختزلاً الدالة الموجية Ψ_ϵ لشعاع الليزر النبضي القصير إلى مستوى معروف – جيدًا ومستقطب عمودي والذي لا يطول كثيرًا لما يقابل العدد الإشغالي المعروف – جيدًا، بدلالة المستقطب الثاني P_2 وهذا المستوى يكون متراكبًا لموجه الفوتون أو صيغة المجال Ψ_2 الذي يستطيع مرور P_2 (استقطاب 45° – بالنسبة إلى P_{45°) وموجة فوتون أو صيغة مجال Ψ_2 والذي لا يستطيع مرورها (الاستقطاب عمودي على P_2). ومن ثم، فإن تأثير P_{45° على Ψ_ϵ يكون:

$$P_1\Psi_k = \Psi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_2 + \Psi_\backslash). \qquad (7.4)$$

خلف المستقطب الثاني P_2 يكون مجال الفوتون في المستوى $\sqrt{2}\Psi_2/2$, نتيجة اختزال للمستقطبين P_1 , P_-, يكون هذا المستوى متراكبًا من $(\Psi_1 + \Psi_-)/2$, ، مع المستوى Ψ_- للمستقطب الأفقي عموديًا على Ψ_1، ويقابل المستوى الكمي Ψ_2 متراكب الفوتونات التي تستطيع مرورها ولكن تستطيع فقط مرور المستقطب P_- . وحينئذ يكون تأثير P_2 هو

$$\Psi_\backslash = \frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_2 = \frac{1}{2}(\Psi_1 + \Psi_-)P_2. \qquad (7.5)$$

وفي النهاية، لندع موجة الفوتون تمر خلال المستقطب الثالث P_- الذي يكون عموديًا على المستقطب الأول، وخلف P_- يمكن عد الفوتونات المفردة إذا كانت وإذا كانت فقط بين P_1, P_-، فالمشاهدات المقابلة بالضبط للحالة الكلاسيكية الموصوفة سابقًا، مع P_1, P_- وحدهما، ودون المستقطب الثاني P_2 لا يمر الضوء ولا يعد فوتونًا مفردًا.

مكتبة الفكر الجديد

وفي هذه الحالة يكون تأثير P_- على $\Psi_/$ هو مستوى مفرغ:

$$P_-\Psi_| = 0\Psi_- = \Psi_{k,0}. \qquad (7.6)$$

ولكن إذا وضعت $P_/$ بينهما، فإن بعض الفوتونات يعاد عددها عند الشاشة، وفي هذه الحالة توضع نتائج المستقطب في متراكب مستوى الفوتون للعدد الإشغالي ١ والمستوى المفرغ:

$$P_-\Psi_- = \frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_- = \frac{1}{2}(Co\Psi_{k,0} + c_1\Psi_{k,1}). \qquad (7.7)$$

من الواضح أن كلا من المستقطبات تختزل الدوال الموجية إلى مستوى استقطاب معرف – جيدًا، كما في القياس. وكل مستقطب يخمد سعة دالة الموجة أو صيغة المجال بمقدار العامل $1/\sqrt{2}$، وهذا يكون نتيجة التخميد لشدة الفوتون (أو متوسط العدد الفوتوني والذي يعطى بواسطة القيمة المتوقعة لمؤثر العدد الإشغالي) بمقدار المعامل $\frac{1}{2}$. إن شدة الفوتون الناتجة أو متوسط العدد الفوتوني لتأثير (٧. ٧) يكون $\frac{1}{4}$ تأثير (٧,٤)، وهذا يعني أنه بدلالة الاحتمالات الانتقالية أو معدلات العد، في المتوسط ٣ من ناتج ٤ فوتونات في نهاية الفقد الناتج عند العداد الفوتوني. ومع هذا، تم عد الفوتونات بمعدل عد غير منتظم تمامًا، نتيجة الوجود الكلي لمستوى مفرغ لمجال الكم الذي يتنبأ بوجود كلي لتموجات احتمالية مجال الكم، بالنسبة إلى صيغة مجال مفرد وبالنسبة إلى عداد جسيمي غير مثالي بكفاءة تقل عن واحد (١)، تكون احتمالية توزيع العد الفوتوني طبقًا لمعادلة ذات حدين[١].

---

(١) انظر: Walls and Milburn 1994, 51-52; Busch et al. 1995, 9-10 and 177-180

مكتبة الفكر الجديد

وبوضع مفهوم الجسيم الكلاسيكي فى الذهن، فإننا نجد أنفسنا مدفوعين إلى طرح التساؤل التالي: ماذا يحدث للفوتونات المفردة التي أتاحت لكل منهم إما أن يمتص عند واحد او آخر من المستقطبات أو المعد خلف المستقطب _P ؟ وقد دلتنا الكهربية الديناميكية الكمية أن هذا سؤال خاطئ، فالفوتونات غير مميزة، وأنه نتيجة تأثير المستقطبات يكون العدد الإشغالي لمجال الفوتونات غير حاد، وبالتالي ينشأ لدى الفرد عدم دراية حول اختصاص الفوتون عند أي من المستقطبات طالما أنها لا تقاس هناك، ومن وجهة النظر الحقيقية فإن الامتصاص في المستقطبات يحدث على نحو موضوعي نتيجة عدم الاتساق وهذا يعود ليوضح لنا فقط ماذا يحدث عند المستوى الاحتمالي.

في حالة الفوتون المفرد فإن تحضير مستوى الفوتون عن طريق أي من المستقطبات التى قبل الشاشة يجب أن يختلف جوهريًا عن قياس الفوتون، وبطريقة أخرى، فإنه لا يمكن حلها عن طريق وضع المستقطب الثاني[1]، تصف التجربة المبنية كما سبق بأنه لم يلاحظ امتصاص الفوتونات "المفقودة" قبل أن يتم عد متوسط الفوتونات المفردة التى تم عدها خلف _P،.ومع هذا فلكي نقيس امتصاص الفوتونات المفردة عند المستقطبات يتطلب أجهزة تجريبية إضافية وهذه ستتكون من بناء أو إعداد تجريبي مختلف، وبالنسبة إلى البناء التجريبي الذي تمت مناقشته هنا فيؤخذ فى الاعتبار النص التالي فقط . طالما كان الفوتون الواحد في زمن كونه بمجال الكم، وأينما كان الفوتون في النهاية تم عده فإنه لا يوجد فوتون ممتص عند أي من المستقطبات، وهذا بسبب حقيقة اعتبار حفظ الطاقة عند مستوى عمليات الكم المنفردة[2].

---

(١) فحصت هذه النقطة بمزيد من التفصيل في الفقرات المُقبلة بطرق تجريبية حديثة لاختيار البديل بمحاولات كمية. انظر الفقرات من (٧-٤: ٧-٥).

(٢) تذكر ملاحظة بورن فى **Born 1926a**، والتي استشهدنا بها في الفقرة (٧-٢).

مكتبة الفكر الجديد

- لقد أخبرتنا الاحتمالات الانتقالية لنظرية مجال الكم أنه يوجد من ٣ إلى ٤ فوتونات تمتص عند واحد من المستقطبات، وإذا كان احتمال عد الفوتون يساوي (½) وهذا يؤشر بوجود P/ هناك، وإذا كانت تساوي (¼) وهذا يشير إلى أن _P تكون هناك أيضًا، ومع ذلك فإن هذا النص يصنع فهمًا فقط عند المستوى الاحتمالي مع تغير أداء موحد لنظرية مجال الكم، وأنه يستحيل تطبيق هذه الرؤية على العد الفوتوني المنفرد. وبوضوح، لا يستطيع المستقطب أن يخمد شدة الفوتون المفرد بالمعامل (½)، وهذا يحول دون أي تفسير للتأثيرات المناقشة سابقًا بدلالة الجسيمات المنفردة ورزم الموجات الفوتونية المتموضعة أو أيًّا كانت الأسباب المنفردة للعد الفوتوني المنفرد.

ولكن التأثيرات حقيقية، وطبقًا لمبدأ العلية فإن أسبابها تكون أيضًا حقيقية، وفي الحقيقة فإن الطريق الذي يكون فيه استقطاب الفوتون الذي تم إعداده فله ثقة موصولة بالعلية بالنسبة إلى احتمالية الانتقال الذي يتنبأ بالتكرار النسبي للعد الفوتوني، وبديهيًّا فقد وصف ذلك بدلالة صيغ المجال ومستويات الاستقطاب والأعداد الإشغالية والتراكبات العملية، وهي وثيقة الصلة بالعلية ولهذا الإعداد يمكن أن يعبر عنها فقط بدلالة الاحتمالات المشروطة، إن الفجوة بين البديهية والوصف العملي للفوتونات ما زالت باقية، فعمليًّا توجد الجسيمات، وبديهيًّا توجد المجالات أو الموجات، ولا يوجد رابط غير جدلي بينهما بعد التفسير الاحتمالي. ومع ذلك، فقد اعتبر الفيزيائيون أن الموجات التي أعدوها تكون من الحقيقة كما كانت الجسيمات التي تم عدها أو حصرها.

مكتبة الفكر الجديد

٧-٤ إعادة اعتبار الشق المزدوج

لقد حلم الفيزيائيون لعقود عديدة في تجارب الحيود مع الإلكترونات المفردة أو الفوتونات ولكن ظلت أحلامهم باقية في التفكر بالتجارب من خلال روح أفكار هايزنبرج لميكروسكوب جاما[١]، وكانت التجارب الذهنية الخاصة بالمناظرة الشهيرة لبور-أينشتين مؤثرة جدًا، وكانت حاسمة في فهمهم بأن هذه المناظرة معتمدة على تطبيق علاقات عدم التحديد لهايزنبرج للجسيمات دون الذرية المفردة، وقد نشأت بعد محاضرة كومو- لبور[٢]، ولكن توضح أن علاقة عدم التحديد لهايزنبرج لا يمكن تجنبها فقد ابتكر أينشتين التجارب الذهنية الواحدة تلو الأخرى، وسجلت جميعها عن طريق بور بالمناقشات الفيزيائية المقنعة زادت أو نقصت، وكما عرف جيدًا، فقد بلغ أوج المناظرة في التجربة الذهنية الشهيرة EPR والتي لم تكن مقنعة للرصد بواسطة بور[٣]، طريق تجارب الضوء الكمي الحديث نفسه عاد بالمسار لتجربة ذهنية أخرى للمناظرة، وهي شق أينشتين المرتد، وأحد الأفكار لأينشتين كانت قياس مسار الفوتونات التي تمر خلال الشق المزدوج عن طريق وسائل الشق المرتد، وقد ناقش بور أن الشق المرتد سوف يُظهر أهداب التداخل؛ لأنه يجعل قياس كمية الحركة غير محدد في اتجاه الاعتبار

---

(1) Heisenberg 1927, 147-175 and 1930b, 21-23.

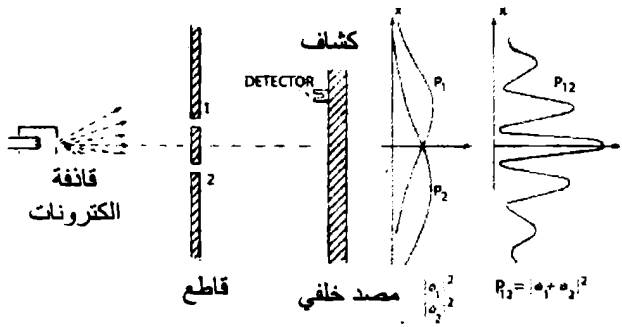
(٢) انظر: **Bohr 1949**.

(3) Einstien et al.1935. لقد كان رد بور فى عام ١٩٣٥ردًا فلسفيًا في المقام الأول. ولسبب بسيط أنه كان صعب الفهم فلم يقتنع أى فيزيائى برؤية بور.

مكتبة الفكر الجديد

نفسه بعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج[1] لقد طور فاينمان بعد ذلك نسخة أخرى لهذه التجربة الذهنية فأوصى بضم مصدر ضوئي في جهاز التجربة خلف الشق المزدوج التي عندها تتشتت الإلكترونات على أحد الأوجه أو على الآخر، معتمدة على الشق الذي تأتي خلاله[2].

لقد أصبح بالإمكان في الضوء الكمي الحديث فقط أن تتحقق تجارب بالإلكترونات المفردة والفوتونات، وفي النهاية أمكن تحقيق أيضًا بعض التجارب الذهنية للمناظرة الشهيرة لبور–أينشتين، فقد قيست تلازمات EPR في مظاهر التجربة الشهيرة عندما توافرت تكنولوجيًا.



شكل (٧–١) الشق المزدوج لفاينمان دون تشتت الضوء

(Feynman et al .1965, 1-4)

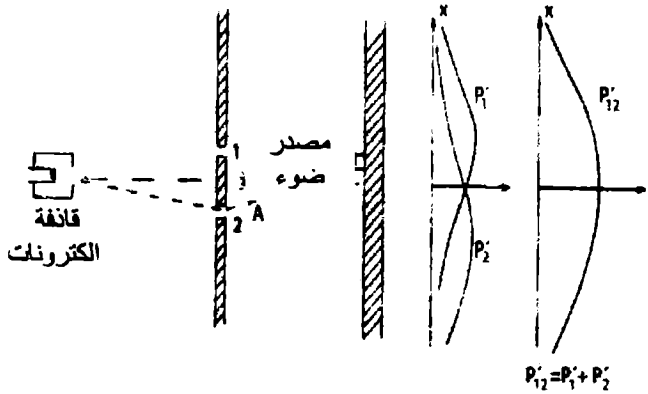
---

(1) Bohr1949, 215-216.

وبالمناسبة فهذه واحدة من الحُجج الاحتمالية القليلة فى منطق بور.

(2) Feynman et al.1965, 1-4-1-9.

مكتبة الفكر الجديد



شكل (٧-٢) الشق المزدوج لفاينمان بتشتت الضوء

(Feynman et al.1965,1-9)

إنتاج الفوتونات المفردة[1]، وبالنهج نفسه لتجارب الضوء الكمي الحديث عادت بالمسار لشق الارتداد لأينشتين والميكروسكوب الضوئي لفاينمان.

في عام ١٩٩١ اقترح كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر نسخة منقحة لهذه التجارب الذهنية[2]، وهي تعتمد على طرائق الضوء الذري وعلى مرور الذرات المفردة وحيودها خلال الشق المزدوج والأجهزة الضوئية الأخرى. (وأحد التوابع للازدواجية الموجية الجسيمية في ذرات الضوء الكمي والفوتونات، أو المادة وجسيمات الضوء أوالموجات تكون في تغيير تبادلي).

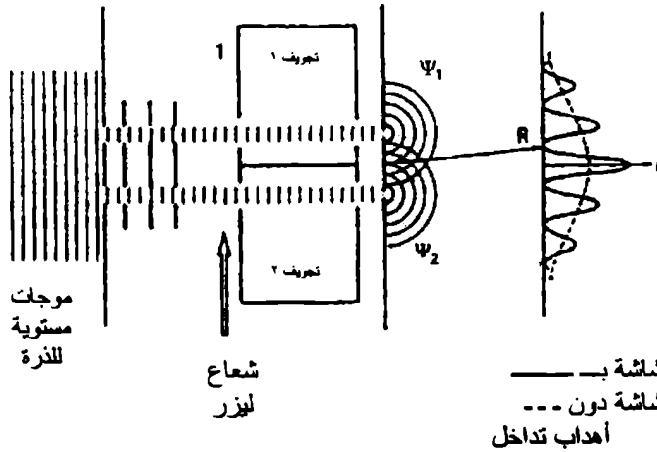
---

(1) Aspect et al. 1982.

وانظر الفصل الثاني من: **Greenstein and Zajonc 1997**.

(2) Scully et al.1991.

مكتبة الفكر الجديد



شكل رقم (٧-٣) تجربة سكلّي الفكرية

Scully, M.O., Englert, B.-G., Walther, H.: Nature 351, 111-116

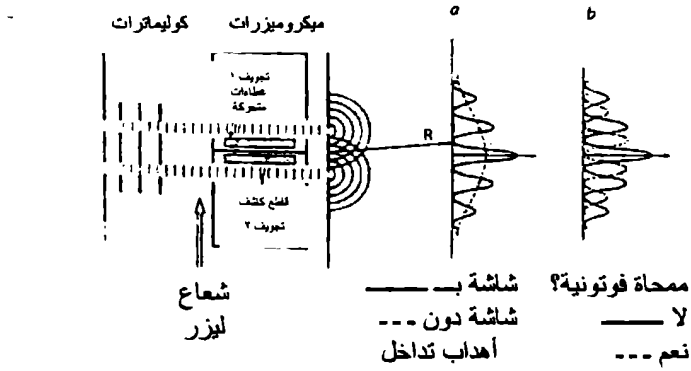
(Copyright 1991)

٧-٤-١ كيفية تخزين ومحو مسار المعلومات

كان المقترح في إثارة الذرة بوسائل الليزر إلى مستوى مثـار معـرف جيدًا ويُعلَّم مساره عن طريق وسيلة تجويفية ميكروميزريـة التـي تحـدث اضمحلالاً لمستوى الإثارة فيها إلى المستوى الأرضي، ويكون إعداد التجربة وترتيبها في مثل ذلك داخل منطقة التجويف بحيث يضمحل المستوى المثـار باحتمالية تقترب جدًا من الواحد (١) وصولاً إلى االمستوى الأرضـي عـن طريق انبعاث فوتون، فإن انبعاث الفوتون في أحد التجـويفين يُعلِّـم مـسار الذرة؛ لأن التجويف مع الفوتون يكون في مـستوى مجـال مختلـف عـن التجويف الآخر دون الفوتون، وفي هذا الفهـم تكـون مـستويات المجـال للتجويفات هي التى تخزن معلومات المسار.

عن طريق الأجهزة الإضافية يمكن أن تمحى هذه المعلومات، ويتحقق المحو عن طريق وسائل العداد الفوتوني في الحائل بين التجويفات، وتعد الفوتونات جميعًا في كلا التجويفين. وبهذا السبيل تدمر المعلومات المرتبة في التجربة السابقة، ولكي يعاد تحقيق الوضع التجريبي بمعلومات المسار ودون العد الفوتوني تم وضع غطائين متحركين في التجويفين اللذين يغطيان عداد الفوتون ويمكن أن يفتحان، وعندما يغلق الغطاءان يتم ترك فوتون الذرة المضمحلة في واحد من التجويفين الذي عن طريقه يمكن الحصول على المعلومات وعندما يفتح الغطاءان يتم عد الفوتون وعن طريق ذلك تفقد المعلومات.

وقد تنبأ سكلّي وإنجلرت ووالثر بأن نمط التداخل للشق المزدوج سوف يتلاشى بقدر ما يتم تخزين معلومات المسار داخل واحد من التجويفين حتى لو لم تقرأ المعلومات، إضافة إلى أنهم قد تنبئوا بأن نمط التداخل سوف يعود للظهور إذا تم محو المعلومات المخزنة حتى لو تم عد الفوتون من التجويفين بعد مرور الذرة.



(شكل ٧-٤) المحو الكمي لِسكلّي. أعيد طباعته بإذن من شركة الناشر ماكميلان المحدودة:

Scully, M.O., Englert ,B.-G.,Waither ,H. : Naturc 351, 111-116 (copyright 1991)

مكتبة الفكر الجديد

المقترح هنا هو التجربة الذهنية، وقد وصفها كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر لكي يجعلوا الفكرة الأساسية واضحة؛ أي لكي يحددوا مسارًا للذرة من خلال درجات داخلية من التحرر ثم يدعوها حينئذ تمر بالشق المزدوج. وقد شرحوا مرور الذرة خلال التجويفين والشق المزدوج ومخزون معلومات المسار والطريق الذي فيه تمحى هذه المعلومات في نموذج ميكانيكا الكم. ولكي يتم تطبيق العملية الكمية الخاصة بها وتكون متحررة من أي تشتت عشوائي أو أي اضطرابات أخرى فقد رجعوا إلى حسابات منفصلة والتي تثبت أنه في هذا النموذج تهمل كمية الحركة المنتقلة وتكون الدالة الموجية للذرة غير مؤثرة غالبًا عن طريق انبعاث الفوتون[1]. ويكون التنبؤ بما يأتي من التجربة دون المحو الكمي كما يلي:

> لكي نتأكد، وجدنا أن أهداب التداخل تختفي بمجرد أن يكون عندنا معلومات المسار، ولكن نستنتج أن هذا الاختفاء يتأصل في الترابط بين معدةِ القياس والنظم المشاهدة[2].

وقد عبروا هنا عن نتيجتهم بدلالة المعلومات الكمية. وقد تطلب لذلك أن تختفي أهداب التداخل بمجرد تخزين معلومات المسار (معتبرين الفونون المنبعث) في التجويف. ولكي يكون أكثر دقة تختزن المعلومات فقط في مستويات مجال التجويفيين إذا كانوا مختلفين "في طريقة العد" مع أو دون الفوتون المنبعث عن طريق الذرة، وهذا يتطلب أن تكون المجالات في

---

(1) Scully et al 1991, 113, referring to Englert et al. 1990.

ينشأ هنا عن الزعم بأن علاقة عدم التحديد لهايزنبرج ليست، من ثم، موظفة في ازدواجية الموجة–الجُسيم؛ سجالاً في نطاق بصريات الكم؛ انظر ما يلي.

(2) Scully et al.1991, 111.

مكتبة الفكر الجديد

مستوى معرف–جيدًا ذى عدد إشغالي منخفض[1]. إن معلومات المسار المخزونة تجعل أهداب التداخل تختفي، ويتم شرح هذا الفقد في التداخل بدلالة "ترابطات" بين جهاز القياس والذرة.

لقد أوضحت حساب ميكانيكا الكم أن هذه "الترابطات" نتيجة تعقيد مستوى الكم $|\Psi\rangle$ للذرة ومستويات المجال غير المعروفة $|n_1\rangle,|n_2\rangle$ للتجويفيين ١ و ٢ قبل الشريحتين. وقد افترض أن مستويات المجال هذه تختلف في طريقة العد بواسطة الفوتون الواحد في أعدادهم الإشغالية ($|n_1-n_2|=1$) وتكون مستويات المجال الخاصة متعامدة، وهذا كاف لتختفي أهداب التداخل للشق المزدوج عند الشاشة. وأخيرًا يوضع العداد الفوتوغرافي والغطاءات المتحركة. ويعمل هذا الترتيب مع الغطاءات المتحركة المفتوحة على إعداد الدالة الموجية التي يرصد فيها الفوتون المنبعث دون أي معلومات للمسار، وهذا النوع من العد يمحو معلومات المسار ويعيد إظهار الأهداب عند الشاشة ثم وصف البناء التجريبي للمختلف والتأثيرات التي أحدثت في الأشكال الكمية البسيطة التالية[2]:

---

(1) Scully et al.1991,114.

إنهم يؤكدون أن الميزر الميكروي لن يقوم بعمل كشاف لتحديد الاتجاه إذا ما احتوى على إشعاع موجات ميكروية كلاسيكية بمتوسط كبير لعدد الفوتون (N) والتذبذبات المصاحبة للجذر التربيعى للعدد N الأكبر بكثير من واحد صحيح، المرجع السابق نفسه.

(٢) بالمُقارنة بـــ: **Scully et al.1991,113-115**، تم حذف التفاصيل الفنية التالية: الدالة الموجية للحالة الداخلية للذرة التي لم يضف أية حدود جديدة في تجميعات الدوال السابقة (من ٧–٨ إلى ٧–١١)؛ إن تحديد حالات المجال في الفجوات ١ و٢ يجب أن=

مكتبة الفكر الجديد

الشق المزدوج [DS]

يتم إعداد الذرة في مستوى كمية حركة حاد (محدد) أو موجة مستوية $|\Psi\rangle$ وترسل خلال شق مزدوج، وتظهر الشق المزدوج دالة الموجة $|\Psi^{DS}\rangle$ كتراكب من الموجتين $|\Psi 2\rangle, |\Psi 1\rangle$ والتي تنشأ من الشقين، وهذا يحدث حدود التراكب ومن ثم أهداب التداخل عند الشاشة:

$$|\Psi^{DS}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle), \qquad (7.8)$$

$$|\Psi^{DS}|^2 = \frac{1}{2}(|\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2 + \langle\Psi_1|\Psi_2\rangle + \langle\Psi_2|\Psi_1\rangle), \qquad (7.9)$$

علامة المسار [PM]

الآن وضع التجويفان ١ و ٢ قبل الشق المزدوج وأثيرت الذرة وتم عمل علامة للمسار خلال أنظمة الاثنين (التجويف إضافة إلى الشريحة) عن طريق مستويات مجال الكم العمودي $|n_2\rangle, |n_1\rangle$ يقرن الفوتون المنبعث مستويات مجال التجويف للمرور خلال الشق الخاص، والترتيب الكامل يعد الدالة الموجية $|\Psi^{PM}\rangle$ التي في مركبات دالة موجة الشق المزدوج $|\Psi^{DS}\rangle$ يكون متشابكًا مع مستويات العداد $|n_2\rangle, |n_1\rangle$. وحيث إن هذه المستويات تكون متعامدة ويختفي أي تراكبات لهم والدالة الموجية المتشابكة تتنبأ بأهداب التداخل المفقود.

=تصبح نسقية في النهاية (هنا، تكون حالات المجال مُعطاة ببساطة من خلال أعداد الموضع)؛ وتظهر على الشاشة الكثافة الاحتمالية لمستويات شاشة العداد المعقدة التى تصف ترابطات العد الفوتونى في حائط الفجوة والحصر الذرى.

مكتبة الفكر الجديد

$$|\Psi^{PM}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi_1|n_1\rangle + |\Psi_2\rangle|n_2\rangle), \qquad (7.10)$$

$$|\Psi^{PM}|^2 = \frac{1}{2}(|\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2). \qquad (7.11)$$

المحاة الكمية [QE] Quantum Erser

وفي النهاية وضع العداد الفوتوغرافي والغطاءات المتحركة، ويتماثل الترتيب بالغطاءات المغلقة مع الـ[PM] (علامة المسار)، ولكن حين تفتح الغطاءات فإن عداد الفوتون سوف يعد الفوتونات من كلا التجويفين، ومن ثم فإن الترتيب يحدث إعداد بعض تراكب للفوتون في أحد التجويفين ولا يوجد فوتون في التجويف الآخر، ولا تزال هذه النظرة المبسطة للوضع التجريبي تهمل عد الفوتونات، ولأخذ ذلك في الاعتبار يكون وصف الذرة المعدة بدلالة جمع مستويات الكم التماثلية وغير التماثلية، بإقران أو ترابط مجال الفوتون فقط بالجزء التماثلي لدالة موجة الذرة المعدة وهذا يقلل كفاءة العد إلى النصف (½)[1]، ونتيجة الإقران يكون معامل الكفاءة هذا $|\Psi^{PM}\rangle$ متشابكا مع التراكب $(|n_1\rangle + |n_2\rangle)$ فتمحى معلومات المسار ويعاد إثبات دالة الموجة الأصلية للشق المزدوج[2].

---

(1) Scully et al. 1991,115,

(٢) لقد تم قياس الجزء غير المتماثل للدالة الموجية للذرة المرصودة (غير المقترنة بمستويات مجال الفوتون للتجويفات) المتشابكة مع |ΨPM⟩ بطريقة الترابطات المضادة نفسها بين الشاشة والعداد الفوتوني والأهداب المضادة المقابلة، انظر **Scully et al.1991,115**، والمناقشة في الفقرة ٧-٥. لقد استقر الحال بالنسبة إلى الدالة الموجية الأصلية للشق المزدوج عن طريق تحريك بسيط بين حائل التجويفات. هذا يتطلب=

مكتبة الفكر الجديد

$$|\Psi^{QE}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi^{DS}\rangle = \frac{1}{2}(|\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle), \qquad (7.12)$$

وتوحي لغة المعلومات الكمية بأن الفوتون المخزون في التجويف مدرك بالحواس كما لو كانت مقروءة عن طريق جهاز القياس، وهذه تكون مصحوبة بفكرة أن انبعاث الفوتون كحقيقة واقعة (يُقال، نتيجة زوال التماسك أو الاتساق)، مثل موت قطة شرودنجر، حتى إذا لم يشاهد أحد هذه الأحداث يبدو هذا المذهب الواقعي الضمني على خلاف مع مطلب أن يكون المحو الكمي لمسار المعلومات ممكنًا، تعمل الممحاة الكمية فقط إذا كان المخزون المكون للمعلومات بطريقة العملية العكسية، وهذا يتطلب لا تقليل القياس لدالة الموجة الميكانيكية الكمية ولا تحطيم التشتت غير المتسق لتداخل مكوناتها، ومن ثم فإن أهمية المطلب هو أن تعليم المسار يكون ارتدادًا-حرًّا ونقصًا؛ أي تشتت عشوائي أو أي عمليات أخرى متوفرة(١).

وبالمصطلحات غير الصورية، ربما يكون تتابع الظواهر الكمية الموصوفة أعلى كما سبق أفضل وصف بدلالة تميز الموجات المحضرة

=ترتيبًا تجريبيًّا آخر بعمل فتحة بين التجويفات والقواطع التي يمكن غلقها. وسوف يحدث مثل هذا الترتيب نوعًا آخر من المحو الكمى الذى يشبه تجربة الاستقطاب المشروحة فى الفقرة (٧-٣). بما في ذلك ترابطات EPR .

(١) تم تأكيد هذه النقطة عدة مرات في ورقة البحث، انظر Scully et al.1991, الصفحات ١١١:١١٣ "حيث تم تسجيل حسابات مهملة لكمية الحركة المنتقلة، وفى صفحة ١١٤، حيث "يؤكدون مرة أخرى بعدم وجود تغيير ملاحظ للدوال الموجية للذرات في كشافات ويلشرويج الميكروميزرية حرة الارتداد" ، وذلك قبل أن يصلوا إلى شرح الكم الماحى.

مكتبة الفكر الجديد

والجسيمات المعدودة التي أشير إليها بأعلى في الفقرة (٧-٣)، فقد أعدت الشق المزدوج موجتان متسقتان ومتداخلتان، ويعد تجويفا الموجتين المتشابكتين مع مستويات مجال التجويف المميز جيدًا محتويًا معلومات المسار من غير تداخل طويل، وفي النهاية يقيس العداد الفوتوغرافي مستويات المجال الذي يتشابك مع تقدم سير الذرة بجانب الشق المزدوج ولكن بإهمال معلومات المسار هذه.

لقد أحدثت الممحاة الكمية اللغز التالي: في الترتيب التجريبي [QE] مع العداد الفوتوغرافي والغطائين المتحركين قد يفتح الغطاءان المتحركان فترة طويلة بعد تخطي الذرة للتجويف. هذا الوضع التجريبي هو الممحاة الكمية باختيار متأخر. كيف يمكن إعادة ظهور نمط التداخل إذا كان زمن التأخير بين مرور الذرة وفتح الغطاءات من الكبر بحيث لا تستطيع الذرة التدفق بالمرور في التجاويف؟ بمجرد أن تكون الذرة عند مسافة شبه الفراغ من التجاويف وحينئذ لا توجد إشارة يمكن لها الانتقال بينها. وهذا ما تتطلبه علية أينشتين[١]. وقد كيَّف كل من اسكلِّي وإنجلرت ووالثر بعض علامات لإدوين جاينس لترتيبات تجربتهم الوحيدة[٢]:

> حينئذ، لدينا مفارقة وأكثر لتمام الثلاثة EPR [أينشتين-بودولسكي-روسين] عن طريق تطبيق آلية المحو أو المسح، بدفع شعاع ذري بحرية إما: (١) حالة بمسار معروف ولا يوجد إمكانية للتداخل فى أى قياس لاحق؛ (٢) حالة بوجود كلا

---

(1) Einstein et al. 1935.
(2) Scully et al.1991, 114, after Jaynes 1980.

مكتبة الفكر الجديد

الدالتين Ψ_1, Ψ_2 بطور نسبي معروف. حينئذ لا تشاهد فقط تأثيرات التداخل ولكن يتم توقعها والتنبؤ بها، ويمكن لنا أن نقرر ما الذي نفعله بعد أن ينتهي التفاعل وأن تكون الذرة بعيدة عن التجاويف، حتى لا يمكن الاعتقاد في أي تأثير فيزيائي عند الدالة الموجية لمركز الكتلة الذرية.

إن هذا الوضع المتناقض بوضوح يسهل حله حقيقة على أساس التفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم، لقد أحدث التشابك في النهائة ترابطات مناسبة؛ أي للعدد الجسيمي المترابط؛ حيث إن التأثير الفيزيائي لتحضير الدالة الموجية المتشابكة يظهر فقط عند المستوى الاحتمالي في حصر أو إعداد العديد من الأزواج الجسيمية المترابطة، وهذا يكون في حالة الترابطات EPR وهذا يكون أيضًا في النقطة الحاسمة في التجربة الذهنية الخاضعة للفحص.

وقبل أن يحل هذا اللغز وقبل التحقيقات الحديثة لمناقشة مقترحات التجربة الذهنية، يجب أن يتم شرح وحل لغز آخر وأنه يتعلق بخلفية فهم المقترح، وتكون فكرته الأساسية في تعليم مسار الذرة عن طريق التشابك مع حالات (مستويات) مجال التجاويف في مثل طريق معلومات المسار التي يمكن محوها بعدئذ، ومن ثم كان من متطلبات كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر أن يتم في هذا السبيل تعليم مسار الذرة دون أي انتقال لكمية حركة مادية. والتساؤل فيما إذا أمكن الاحتفاظ بهذا المتطلب حتى يؤدي إلى مناظرة حول السؤال عن أي من الاثنين التاليين يكون أكثر تأسيسًا علاقة عدم التحديد لهايزنبرج أم التتامية؟

مكتبة الفكر الجديد

٧-٤-٢ هل توجد التتامية دون عدم التحديد؟

إن الخلفية المفاهيمية للتجربة الذهنية المُقترحة وتحققها ذات شقين: يتمثل الأول في السجال بين بور-أينشتين، والثاني في ميكانيكا كم التشتت (الاستطارة)، ينبني المكون الأول على صورة الجسيم ويقترح لطريق المساعدة في الكشف على تطبيق علاقة عدم التحديد لهايزنبرج والرؤية التتامية لبور للجسيمات دون الذرية المنفردة، ويخبرنا هذا الأخير عن فهم المجموعة الاحتمالية الموحدة وأنها تنبني على صورة الموجة.

لقد أهملت مناظرة بور- أينشتين التفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم في تأييد المقابلة للتفاعلات دون الذرية المنفردة لتناظرها الكلاسيكي في صورة الجسيم، وناقش بور وأينشتين إمكانية دراسة الموضوع وكمية الحركة للجسيمات دون الذرية المنفردة، ومن أجل عمل ذلك طبقا الصورة الكلاسيكية للأنظمة الكمية وتفاعلاتها وناقشا إمكانية الاحتفاظ بعلاقات هايزنبرج لعدم التحديد ومبدأ التتامية لبور في خطوط حسابات بور للازدواجية الموجية الجسيمية. التي تمت مناقشتها في فقرة (٧-٢)، وتقابلها التجارب الذهنية لأينشتين وبراهين بور والتي يكون تصورها للفوتونات أو الإلكترونات كما لو كانت جسيمات في الفهم الكلاسيكي ولكن يجب عدم نسيان وجهة نظر هايزنبرج الذي ركز عليها في فقرة (٧-٢)، وتكون رؤية الإلكترون أو الفوتون كجسيم مبنى على تشابهات جزئية فقط، ولشرح تفاعلاتها فيما قبل تصورات النموذج الكلاسيكي المحكومة بقاعدة المقابلة لبور وفي أي حالة فإن التشابهات الجزئية تعطي فقط حسابًا غير كامل في ميدان الكم.

مكتبة الفكر الجديد

يعتمد الطريق التجريبي في مسماه على الفكرة الكلاسيكية لمسار الجسيم، ولكن تفسيرها يكون من المغرى لأن نوظف المفهوم التتامي لبور وعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج في مستوى تفاعلات دون الذرة الفردية وأن نعتقد في توالد الجسيم، ومع هذا فإن هذه الفكرة تكون على خلاف التفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم وتراوحات مجال الكم غير المحلي وظواهر شبه الموجة الكمية التي تمت مناقشتها في فقرة (٧-٣) ويكون الطريق للخروج من تشوش المفاهيم هو الأخذ بازدواجية الموجة والجسيم وجدية تفسيرها الاحتمالي، وهذا يعني أن مسار الجسيم يستطيع أن يكون له معنى في هذه التجارب.

وفي بحثهم الرئيس حاول كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر أن يبرهنوا على أن التتامية تزيد في أساسيتها عن علاقة عدم التحديد لهايزنبرج، فأدخلوا المفهوم العام للتتامية والذي يقدم المظاهر الاحتمالية لملاحظات التتامية حتى تؤدي دورًا[1].

> لقد ميزت التتامية عالم ظواهر الكم عن عالم الفيزياء الكلاسيكية. [....] واعتماد تعليمنا أن نتقبل التتامية كحقيقة [....] بما يخص نيلز بور. في عام ١٩٢٧، [...] في كومو [....] تم نسبة جميع الأمثلة المستعملة في توضيح التتامية المسندة للموضع (شبيه- الجسيم) ولكمية الحركة (شبيه الموجة) إلى الشيء الميكانيكي الكمي وأن يكون فوتونًا أو جسيمًا كتليًا

---

(1) Scully et al. 1991, 111.

وللمزيد من النقاش حول الموضوعات التالية انظر أيضًا: **Busch and Lahti 2005; Shillady and Busch 2006**

مكتبة الفكر الجديد

[...] ومع هذا، فإن التتامية تكون مفهومًا عامًّا، ونستطيع القول: إن المشاهدتين تكونان "تتاميتان" إذا كانت المعرفة الدقيقة لواحدة منها تتضمن كل ما يمكن قياسه للشيء الآخر يتساوى في الاحتمال معه [....] وهنا حينئذ يكون "مبدأ التتامية": لكل درجة حرية يكون لأى متغير ديناميكي ثنائي من المشاهدات التتامية، وإلى حد ما يكون النقل بدقة أقل فى الحدود العملية: كيف يتم إعداد نظام مادى، فيوجد دائمًا قياس يكون ناتجه دون تنبؤ تام.

هنا يتم فهم التتامية في مفهوم بور كازدواجية موجية جسيمية لشيء كمي منفرد والذي يعزى إليه أي من كمية الحركة أو الموضع، وقد قورن هذا مع المزيد من الحساب العام للتتامية التي تتصاحب مع عدم تعديل مشاهدات ميكانيكا الكم وتأتي في حدود تخص الاحتمالية ويطبق حينئذ هذا المفهوم التتامي على التجربة الذهنية لأينشتين، وتكون نسخة فاينمان لها حينما يمر الإلكترون في الشق المزدوج ويقاس مسارها بوسائل المصدر الضوئي وميكروسكوب هايزنبرج[1]. وكانت هذه التجارب الذهنية مطلب كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر.

يؤكد هذه التتامية في ميكانيكا الكم [...] في هذه الأمثلة [...] علاقة عدم التحديد للموضع – كمية الحركة لهايزبنرج $\delta x \delta p \geq \hbar/2$ تجعلها ممكنة في تغيير ما يربط مرور الإلكترون

(1) Bohr 1949, 225-226; Feynman et al. 1965, 1-4-1-9; Heisenberg 1927; 1930a, 15; 1930b, 21.

مكتبة الفكر الجديد

(أو الفوتون) دون أن يكون في الوقت نفسه محدثًا اضطرابًا للإلكترون (الفوتون) بما يكفي ليحطم نمط التداخل[1].

يتم الحصول على نمط التداخل واختفائه عند المستوى الاحتمالي فقط وطبقًا لرؤية بور نرى أن علاقة عدم التحديد يكون لها الأولية عن التتامية وقد أخذ سكلِّي بوجهة النظر هذه وتتطلب:

> وجدنا في هذ العمل سبيلاً حول عقبة الموضع-كمية الحركة؛ أي أننا نجد طريقًا ينبني على قياس التداخل ماديًّا والتقدم الحديث في الضوء الكمي، [....] للحصول على معلومات عن أي- مسار أو شبه -جسيم دون تشتيت أو ما إذا تم إدخال عوامل طور غير محكم إلى أشعة التداخل[2].

هنا تم بوضوح نمذجة تشتت الجسيمات دون الذرية في صورة موجية؛ أي في ميكانيكا التشتت وطبقًا لهذا فقد أعطيت نتائج التشتت عن طريق سعة التشتت والتي تم وصفها بدلالة "عوامل طور" الموجات الكرِّية المتشتتة، وعلى وجه الخصوص تشتت الشعاع الجسيمي عند الشق المزدوج محدثًا "شعاعين متداخلين" والذي لهما فرق طور محدد جيدًا يعتمد على زاوية التشتت، وهنا طالب كل من سكلِّي وإنجلرت ووالثر في مقترحات إنشاء التجربة بعدم إضافة "كثير من عوامل طور غير محكمة" لأن يدخلوا للاستعمال، ومن ثم فسروا علاقة عدم التحديد لهايزنبرج في صورة الموجة والتي افترضوا فيها تفسير الاحتمالية، مثل تعميمهم "مبدأ التتامية".

---

(1) Scully et al.1991, 111.
(2) Ibid.

مكتبة الفكر الجديد

وقد ذهب المؤلفون في مناقشة نظام شق – الارتداد لأينشتين ونسخة فاينمان لتجربة الشق المزدوج في أي شعاع ضوئي لقياس مسار الإلكترون وميكروسكوب هايزبنرج[1]. فأشار فاينمان بأن تشتت الضوء عند الإلكترون سيدمر نمط التداخل وأن الطريق المطلق يكون حول مبدأ عدم التحديد لهايزنبرج.

> إذا كان الجهاز قادرًا على تعيين أي ثقب خلال مسار التجربة وأنها غير قادرة بأن تكون من الضعف بحيث تشوش النمط في الطريق الرئيس، فلا يستطيع أحد أن يجد (أو حتى يفكر في) طريقًا حول مبدأ عدم التحديد[2].

كان يطالب بعكس ذلك كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر:

> هل دائمًا تعمل هذه الآلية؟ لا ! فقد وجدنا طريقًا لذلك حديثًا[3].

يجب أن نلاحظ هنا أن نموذجين مختلفين تم استعمالهما، ففي الأمثلة السابقة شرح كل من بور وهايزنبرج وفاينمان نتائج التشتت للصورة البديهية للجسيم الكلاسيكي، ففي نظام الشق المرتد شرح كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر تحقيق علاقة عدم التحديد في هذا النموذج[4]، فقد أوضح النموذجان تغير كمية الحركة لأي قياس موضعي يحدث (معنى علاقة عدم التحديد لهايزنبرج) في حدود مختلفة تمامًا، ففي النموذج الموجي لنظرية التشتت

---

(1) Scully et al. 1991, 112.
(2) Feynman et al.1965, 1-9.
(3) Scully et al.1991, 112., referring to Scully et al. 1989, Scully and Walther 1989, and Englert et al.1990.
(4) Scully et al.1991, 114.

مكتبة الفكر الجديد

لميكانيكا الكم يحدث القياس الموضعي عوامل طور غير محكمة، وفي النموذج الجسيمي فإنها تحدث حذفًا لكمية الحركة.

إن المتطلب السابق في النموذجين لإيجاد سبيل حول علاقة عدم التحديد له معانٍ مختلفة، فتعني في النموذج الجسيمي البديهي عمل تجربة الشق المزدوج مع قياس مسار حر – مرتد دون حذف كمية الحركة، وتعني في ميكانيكا الكم الحصول على "معلومات أي-مسار أو شبيه –الجسيم دون تشتت أو بطريقة أخرى إدخال عوامل طور غير محكمة للأشعة المتداخلة"[1]، ويشترك النموذجان في السؤال الحاسم فيما إذا كانت كمية الحركة الفعلية المنقولة مصحوبة بقياس المسار من عدمه، ولكن يختلف وصف كمية الحركة المنقولة هذه جوهريًا.

اقترح كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر فى أي حالة يكون سبيل قياس دون انتقال كمية حركة لأجهزة القياس إلى الذرات التي تمر في الشق المزدوج، وحين قورنت بالتجارب الذهنية لأينشتين وفاينمان وجد أن أساس فكرتهم الجديدة هي أن قياس المسار يكون حرًّا – مرتدًّا (في الصورة الجسيمية) وأنها لا تحدث سعة تشتتية غير محكمة (في الصورة الموجية)، ويعمل المقترح على تحقيق هذا الهدف عن طريق تعليم درجة التحرر الداخلية للذرات، كما تم شرحه فى فقرة (٧-٤) .

ومع هذا ففي عام ١٩٩٤ برزت مناظرة حول تساؤل فيما إذا كانت علاقة عدم التحديد لهايزنبرج أو مبدأ التتامية لبور أكثر أساسًا. لقد كان

---

(1) Scully et al.1991, 112; انظر عاليه.

مكتبة الفكر الجديد

مطلب ستوري ومعاونيها وجوب أن تكون التجربة الذهنية لكل من سْـكلِّي وإنجلرت ووالثر محدثة كمية حركة منقولة فعلية أو تحذف كميـة الحركـة وعوامل الطور غير المحكمة وذلك لأن:

> في أي نظام عد المسار الموجود في الشق المـزدوج المثبتـة تكون كمية الحركة المنقولة للجسيم عن طريـق العـد الفعـال الصحيح (القادر على حل المسار دون غموض) متعلقة بفاصل الشق في تطابق مع مبدأ عدم التحديد[١].

لقد وظف المؤلفون ورقة بحث عن صورة الجسيم في تعبيراتهم غير الصورية بعد أن عملوا حسابات ميكانيكا الكم التـصحيحية فـي الـصورة الموجية، لقد أخذوا قياسات المسار في الحسابات بدلالة طي الموجة الآتية مع عوامل الطور التي تحدث "توزيع السعة لكمية الحركة المحذوفة"[٢] لقد ضـم باقتدار هذا التعبير غير الصوري الأفكار حول الحذف وسعات الموجة، فكان الافتراض الحاسم بأن يكون توزيع كمية الحركة الميكانيكي الكمي مصحوبا بأقصى كمية حركة منتقلة p_m . وتعطي الحسابات نتيجة بأن كمية الحركـة المنتقلة القصوى تكون مرتبطة بالفاصل الشريحي d عـن طريـق $p_m d \geq \hbar$ بالتطابق مع (نسخة بور) لعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج[٣].

لقد قاوم كل من إنجلرت وسْكلِّي ووالثر–وقالوا: إن هذه الاعتراضات ليست جوهرية، فقد افترضوا في إحدى وجهتي النظر نظامًا تجريبيًّا مختلفًـا

---

(1) Storey et al.1994,626.
(2) Storey et al. 1994,627.
(3) Store et al.1994, 627.

وانظر أيضا المناقشة بأعلى لبور ١٩٢٨ في فقرة ٧-٢-٢.

مكتبة الفكر الجديد

لما يوقن بواسطة ستوري وآخرين، ومن وجهة النظر الأخرى كان مطلبهم أن تكون حساباتهم التفصيلية تثبت حثيثًا أنه لا يوجد ما يتعارض مع عدم وجود كمية حركة منتقلة فعليًا[1]. وتم كتابة الدفوع مع الرد سويًا فيما طبعوه[2]. وانقضت المناظرة.

كان حتى وجود محاولة للتوفيق بين المواضع عن طريق تميز نوع كمية الحركة الكلاسيكي العشوائي المحذوف من عوامل الطور في سعة التشتت الميكانيكي الكمي عند المستوى الاحتمالي، تنبأ كلا النموذجين الجسيمي والموجي الكلاسيكي بأن العديد من القياسات الموضعية تعمل على إخفاء نمط التداخل، وهذا هو أساس للاعتبارات البديهية لمناظر أينشتين-بور والذين تبعوهما، ففي النموذج الجسيمي الكلاسيكي للتشتت يرجع هذا لحذف كمية الحركة العشوائي المنفرد غير المحكم. وفي النموذج الموجي يرجع هذا إلى عوامل الطور التي تدخل سعة التشتت، ونتيجة حدود التداخل في سعة التشتت الميكانيكي الكمي يعطي النموذجان عمومًا نتائج مختلفة، وكان مطلب كل من وايزمان وهاريسون أن المقابلة وعدم – المقابلة للنموذج الجسيمي الكلاسيكي للتشتت تصنع الفرق في الأنظمة التجريبية في المناظرة[3].

---

(1) Englert et al.1995, 367-368.

وفي واقع الأمر لا يقترح المرجع: Scully et al. 1994، أي قياس للموضع بالمعنى الذي نجده في المرجع: Storey et al. 1994. وكما يؤكد المؤلفون في المرجع: Englert et al. 1995، فإنهم يقترحون وضع تجاويف الميزرالميكروى قبل الشق المزدوج لتجنب القياسات الموضعية المضبوطة.

(2) Storey et al.1995, 368.

(٣) انظر: Wiseman and Harrison 1995.

مكتبة الفكر الجديد

كانوا يطلبون في إحدى وجهات النظر بأن شق ارتداد أينشتين والميكروسكوب الضوئي لفاينمان قد يتم تفسيرهما بدلالة توزيع كمية الحركة العشوائية الكلاسيكية المحذوفة[1]، بينما هذا لا يكون ممكنًا بالنسبة إلى النظام التجريبي المقترح بواسطة سكلِّي وإنجرت ووالثر.

ومع هذا، فمن وجهة النظر الأخرى طلبوا أن لا يخرج المقترح عن نتائج ستوري التي تعتمد على أطوار عشوائية ميكانيكا الكم وبدا لهم التفكير بأن التتامية قد ينظر إليها فقط كأساسية أكثر من علاقة عدم التحديد إذا تم فهم الأخيرة بدلالة حذف كمية الحركة الكلاسيكية غير المحكمة:

> وهكذا وجد مجال لسكلِّي ومجموعته بالمطالبة بأن تكون التتامية أساسية أكثر من مبدأ عدم التحديد، ولكن وجد مجالاً أيضًا للمطالبة عن طريق ستوري ومعاونيها لإمكانية اعتبار التتامية مؤكدًا عليها دائمًا عن طريق مبدأ عدم التحديد إذا تم تفسير البديل الأخير بدلالة مزيد من الفكرة البارعة والدقيقة لسعات كمية الحركة المحذوفة[2].

ومن ثم لم تتجح حقيقة التوفيق المزعوم، وبدلاً من أن تزيد تشويش المفاهيم حول التتامية وعلاقة عدم التحديد، اعتمدت "الفكرة البارعة لسعات كمية الحركة – المحذوفة" على أرضية الميكانيكا الكمية نفسها كما جعلتها

---

(١) بدلالة مبدأ التناظر لبور، يعني هذا أنه على المستوى الاحتمالي، فإن التشتت عند شق مزدوج يقابل النموذج الكلاسيكى للجُسيم، وأيضًا (مثل تشتت رذرفورد المشروح فى الفصل الثانى).

(2) Wiseman and Harrison 1995.

مكتبة الفكر الجديد

مطالب نظام كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر ممكنة لتحصل على معلومات المسار دون إدخال أطوار عشوائية كبيرة[1]، وطبقًا لذلك فلم يعط انطباعًا أن هذه المحاولة نجحت في توفيق المواضع، وعندما تنجح في النهاية أي طريقة تجريبية في تحقيق المقترح، حينذاك تستخدم درجات الحرية الداخلية لكي تعلم مسار الذرة دون كمية حركة منتقلة، وعبر إنجلرت عن الأمل بأن المناظرة تسير الآن في خطى النهاية[2].

٧-٤-٣ العلاقات الازدواجية

حقيقة وجد طريق آخر بظهور مناظرة مسماة بتقييم كل من التتامية ومبدأ عدم التحديد لهايزنبرج وكيف يرون العلاقة حينئذ، وأدخلت ورقة البحث الرئيسة لكل من سكلّي وإنجلرت ووالثر المفهوم العام التتامية كما ذكرت آنفًا، وطبقًا لهذا فقد تم شرح التتامية بدلالة المشاهدات الكمية غير المعدلة واحتماليات قياساتها الخارجة. وتتعلق علاقة عدم التحديد لهايزنبرج فقط بزوج واحد من مثل هذه المشاهدات الكمية، فبتسمية الموضع q وكمية الحركة p، تتعلق مثل تلك الأزواج الأخرى للمشاهدات الكمية غير المعدلة

---

(1) Scully et al. 1991; see above.
(2) Englert 1998.

كانت التجربة هى ما ورد في Durr et al.1998a,b,Durr and Rempe2000a. التى نوقشت فى الفقرة ٧-٤، وقد أعطى إنجلرت ١٩٩٨ تقريرًا مختصرًا عن التجربة والسجال. من الجلي أنه أدخل وايزمان وهاريسون ١٩٩٥ في زمرة المُعارضين للزعم أن المخطط التجريبي المُقترح يهدف إلى تمرير المعلومات دون انتقال كمية حركة ضخمة.

مكتبة الفكر الجديد

بالتتامية العامة في فهم سكلّي ومعاونيه ومع ذلك ففي النهاية وعند هذه النقطة بدأ بتلاشي الفارق أو الاختلاف بين تتامية بور ومبدأ عدم التحديد لهايزنبرج. وقد وصفت صوريًّا التتامية العامة لسكلّي ومعاونيه عن طريق معاملات فراغ هلبرت محدثة ما يطلق عليه علاقات عدم تحديد هايزنبرج-روبرتسون[1]. فلكل زوج من معاملات هيرمتيان A و B تعتبر علاقة عدم التحديد الصورية كالتالى[2]:

$$\Delta A \, \Delta B \geq \frac{1}{2} |\langle [A, B] \rangle| . \qquad (7.13)$$

حيث إن $\langle A \rangle = TrpA$ هي القيمة المتوقعة لمعامل هيرمتيان A وأن $\Delta A = \sqrt{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}$ هي انحرافها المعياري، بالنسبة إلى معاملات p و q لكمية الحركة والموضع تعبر العلاقة (٧,١٣) عن المعنى الاحتمالي الصحيح لعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج. ومن ثم، فطبقًا لتعريف سكلّى وإنجلرت ووالثر أنه عند المستوى العمومي لا يوجد اختلاف صوري بين التتامية وعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج، هذا وقد سبق توضيح أن المناظرة السابقة حول التتامية وعلاقة عدم التحديد لهايزنبرج لم تستطع أن تكون فعلية، والنقطة التي تبقى فقط هي في تساؤل كمية الحركة المنتقلة في تجربة الشق المزدوج وسوف تناقش أسفل بعد ذلك، ومع هذا فإنه ليس من الضروري دمجها مع سؤال ما إذا كانت نظرة مبدأ عدم التحديد النوعي لهايزنبرج أو التتامية النوعية لبور تكون أكثر أساسية.

---

(1) Robertson 1929.
(2) Dürr and Rempe 2000b, 1022.

مكتبة الفكر الجديد

بالنسبة إلى التجارب الحديثة التى تأخذ أي – طريق، تم تعريف علاقات عدم التحديد لهايزنبرج–روبرتسون حتي يعبر عن معلومات متعلقة بظواهر شبه الموجة أو شبه الجسيم الكمية المقاسة عن طريق الأجهزة التجريبية المعطاة.

هذه المعلومات أساسًا تكون احتمالية كما أشير إلى ذلك من العلاقة (٧,١٣) وأنها تتعلق بأي طريق تجريبي يكون أكثر عمومية من أي مقترح من سكلِّي ومعاونيه عن حكم البنية التجريبية التي أوصوا بقياس معلوماتها عن المسار أو محوها، وأنها لم تصمم لتحضير المستويات الكمية المتوسطة وقياسها ولكن هذه أيضًا ممكنة.

المستويات المتوسطة [IM]

لكي نفعل ذلك لا بد أن نحضر مركبًا من دالتين موجيتين $|\Psi_1\rangle,|\Psi_2\rangle$ متقدمتين على طول فروق مسار ١،٢ بفرق طول يجعلهما متداخلتين ولكن بسعتين مختلفتين C_1 ، C_2 :

$$|\Psi^{WP}\rangle = c_1|\Psi_1\rangle + c_2|\Psi_2\rangle, \qquad (|c_1| \neq |c_2|) \qquad (7.14)$$

هذا وقد نجح من قبل أحد السابقين في تجارب بطريقة ما في عمل ذلك[1]، استخدم فيها ماخ–زهندر جهاز قياس التداخل ليقسم شعاع ليزر بشدة منخفضة إلى شعاعين ويجعلهما يتداخلان، ويرسل الشعاع قليل الشدة خلال نظام له مقسمين اثنين للشعاع ومرآتين بالطريقة نفسها التي تمكنها من أخذ مسارين ممكنين حتى يتم عد فوتونات مفردة في النهاية بواسطة عدادين

---

(1) Mittelstaedt et al.1987.

إن تجربة تحديد الاتجاه ذات معلومات مسار وإمحاء كمي غير كامل يكون لها التأثير نفسه. انظر **Durr et al.2000a,60-65.**

مكتبة الفكر الجديد

للفوتونات، ويمد كلا المسارين بمثل إزاحة الطور عندما يتحدان عن طريق مقسم الشعاع الثاني، للحصول على نمط التداخل، والآن في أحد فرعي التجربة يقلَّل الشعاع بالطريقة نفسها حتى تتمكن من عدد من الجسيمات في هذا الفرع يكون أقل من الذى بالفرع الآخر من التجربة، وما شوهد كان كالتالي، لم يختف نمط التداخل في المجال عندما زاد شدة الشعاع في أحد الفروع وقلَّ في الفرع الآخر، فتلاشت أهداب التداخل تدريجيًا وعندما تصبح معلومات المسار مغمورة لم يطل مشاهدتها، ومن ثم لم تتحول الظواهر الكمية بعدم استمرار بين سلوكيات شبيه الجسيم وشبيهة الموجة، وأظهروا انتقالات هادئة بين نوعين من الظواهر، وهذا يقابل قياس وصلة غير محددة تماما للمشاهدات الكمية المقابلة[١].

لكي نصف مثل هذه الانتقالات الهادئة بين ظواهر شبه الموجة وشبه الجسيم فإن الرؤية أو الوضوح V لأهداب التداخل وإمكانية التنبؤ P أو التمييزية D يتم تعريفهم كأشياء كمية يمكن ملاحظتها[٢] الرؤية V ببساطة هي التباين النسبي لأهداب التداخل، التي تعطي بدلالة شدة القمة وشدة القاع I_{max}, I_{min}

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \qquad (7.15)$$

وقد يعبر عن معلومات المسار بدلالة الفيض الجسيمي النسبي الذي تتنبأ به دالة الموجة للمسارين الممكنين، وهذا أدى إلى التعريف التالي لإمكانية التنبؤ P لمسار الجسيم[٣]:

---

(1) Busch et al.1995.
(2) Mittelstaedt et al.1987. See also Dürr et al.1998b, Dürr and Rempe 2000b.
(3) Englert 1996.

مكتبة الفكر الجديد

$$P = |w_1 - w_2| \qquad (7.16)$$

حيث w_2وw_1 هما احتمالية أن يعد الجسيم في النهاية عند نهاية المسار ١ أو المسار ٢ على التوالي. ويمكن فهم هذين الاحتمالين بمفهوم المعرفة المبدئية حول مسار الجسيم المرجح[١]، كما لو كانت تسمح الاحتمالية الكمية بالتفسير المتجاهل، ومع هذا فإن هذا يعتبر تضليلاً، فطبقًا لميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي لا توجد مسارات جسيمية، ومن ثم فإنه بحديث قاطع فلا مسار الجسيم ولا احتماليته ولكن مجرد احتمال عد الجسيمات بالطريقة المعطاة للموجات التي تم إعدادها، وهذه الاحتمالات تكون لا شيء ولكن بمربع احتمالية السعات $|c_1|^2, |c_2|^2$ لمركبات الدالة الموجية $|\Psi\rangle = c_1|\Psi_1\rangle + c_2|\Psi_2\rangle$

تكون إمكانية التنبؤ المتعلقة بنتائج القياس للحصيلتين الممكنتين وبالأحرى مسار الجسيم قبل القياس.

وبالتناوب، قد يعبر عن معلومات المسار بدلالة الاحتمال القوي L_w لاحتمال صحة مسار الجسيم من قياس درجة الحرارة الداخلية في أي معلومات مسار تكون مخزنة، طبقًا للنظام التجريبي المقترح بواسطة سْكلِّي ومعاونيه[٢].

$$L_w = \Sigma i \max \{p(w_i,1), p(w_i,2)\} \qquad (7.17)$$

---

(1) Dürr et al. 1998b, 5705,

زعم أن |w1-w 2| ينتج عنها "WW قبلي (=تحديد الاتجاه، B.F.) معرفة ناتجة عن الفرق بين الاحتمالات، +w، -w؛ حيث يأخذ الجُسيم طريقًا أو آخر".

(2) Englert 1996. Dürr et al. 1998a, b; and Dürr Rempe 2000b ; Scully et al. 1991.

مكتبة الفكر الجديد

حيث، W الممكن ملاحظتة والذي يقيس معلومات المسار المخزنة عن طريق المستوى الداخلي، w_i, هي القيمة المميزة لهذه المشاهدات الملاحظة، حيث ١، ٢ هما المساران الممكنان، كما أن (k=1,2) $p(w_i, k)$ هم احتمال قياس القيم المميزة w_i, في المسار k. حينئذ فإن أفضل اختيار للملاحظ W (والتي تجعلها ممكنة لقراءة أقصى معلومات للمسار)، وأن التمييزية D تعرف كما يلي[١]:

$$D = -1 + 2 \max_{W} \{L_w\} \qquad (7.18)$$

لقد أكد التجريبيون على أن جميع هذه الأشياء التي يمكن ملاحظتها لها معنى احتمالي[٢] وما لم يناقشوه هو معنى الاحتمالات الموجودة في التعريفات، ومع هذا فقد وضح بالنسبة إلى الرؤية ولإمكانية التنبؤ أو التميز أن العلاقات الازدواجية الحاكمة[٣] التي قد تتراوح يعبر عنها في شكل علاقة عدم التحديد لهايزنبرج – روبرتسون من نوع (٧,١٣)[٤].

$$P^2 + V^2 \leq 1 \qquad (7.19)$$

$$D^2 + V^2 \leq 1 \qquad (7.20)$$

لكي نضعها فى طريق آخر، فإن هذه العلاقات المزدوجة تكافئ علاقات عدم التحديد العامة، يناسب التعبير عن السابق بدلالة المعاملات غير المعدلة مع الخصائص الصورية للف مغزلي كاذب مجرد[٥].

---

(1) **Englert 1996, Jaeger et al. 1995.**

(2) **Dürr et al.2000b,64:** لاحظ أن القدرة على التمييز (مثل القدرة على الرؤية) هي خاصية أداء موحد

(3) **Englert 1996, Jaeger et al. 1995.**

(4) **Dürr and Rempe 2000b.**

(٥) المرجع السابق نفسه.

مكتبة الفكر الجديد

الآن، يصبح السؤال فيما إذا كان مبدأ التتامية لبور أو التحديد لهايزنبرج مبدئيًّا يكون في هل يستطيع أن يقر كما يلي، من وجهة النظر الصورية حيث التتامية أو ازدواجية الموجة – الجسيم يمكن أن تقرأ أو ينص عليها بدلالة العلاقات المزدوجة الموجودة بأعلاه، طبقًا للعلاقات (٧,١٩) و(٧,٢٠) والممكن ملاحظتها كازدواج V و D قد يصف رؤية الهدب الأقصى V=1 وتميز المسار الأقل D=0 أو العكس بالعكس أو بعض السلوك الكمي المتوسط (الحكم نفسه للرؤية V والتنبؤ المساري P) . العلاقات (٧,١٩)، (٧,٢٠) مجرد تعبير لنوع آخر من عدم التحديد تسمى بعض علاقات عدم التحديد لهايزنبرج – روبرتسون التي يمكن أن ينص عليها بدلالة بعض معاملات مختارة مجردة مناسبة في فراغ هلبرت، الطريق في أي مستويات كمية خاصة يعتمد تحضيرها وقياسها على البنائية التجريبية، ويمكن الحصول على معلومات المسار نتيجة عدم تحديد الحركة، الموضع لهايزنبرج (كما في شق الارتداد لأينشتين أو في الميكروسكوب الضوئي لفاينمان) أو فقط يرجع إلى التعقيد الكمي (كما في النظام المقترح بواسطة ستكلِّي ومعاونيه) أو كلاهما[1].

ومن ثم، إذا ما كان عدم تحديد كمية الحركة – الموضع لهايزنبرج قد استعمل في أي طريقه تجريبية أم لا يعتمد على النظام التجريبي، والسؤال المناسب فقط يكون ما إذا كانت أي كمية حركة منتقلة فعلية مصحوبة بمخزون معلومات المسار أم لا في التجارب الحديثة التي تتخذ ذلك الاتجاه غير الموجود.

---

(1) Dürr and Rempe 2000B, 1023-1024.

مكتبة الفكر الجديد

٧-٥ تجارب الاتجاه الحديث

إن رد الفعل- الحر لمقترح التجربة التي تتخذ أي طريق بواسطة سكلّي وإنجلرت ووالثر في عام ١٩٩١ يتكون من ثلاث خطوات (١) إعداد أو تحضير التداخل، (٢) تعليم أو عمل علامة للمسار و(٣) محو معلومات المسار، ويكون النظام العام لميكانيكا الكم كما يلي:

١) إعداد التداخل:

يتم إعداد أو تحضير نظام الكم في حالة حادة لكمية الحركة أو موجة مستوية. وتتقدم خلال شق مزدوج أو خلال جهاز قياس التداخل لماخ - زهندر أو خلال جهاز تجريبي مماثل، في هذا الاتجاه يتم إعداد مستويين كميين متراكبين $|\Psi_1\rangle$ و $|\Psi_2\rangle$ بمسارين مختلفين وفرق طوري، محدثين أقصى أهداب تداخل مرئية.

$$|\Psi^{\nu}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi_1\rangle|\Psi_2\rangle). \qquad (7.21)$$

٢) علامة على المسار:

الآن بعض درجات الحرية الداخلية لنظام كمي متقدم يكون معقودًا (مشبوكًا) مع مستويات عمودية معدودة $|1>$ ، $|2>$. (عند هذه النقطة ينحرف نظام سكلّي عن التجربة المرتب تخطيطها سابقًا، وهنا يقاس المسار ببساطة عن طريق عد فوتون الشق المغلق، وهذا يخرج خليط مستوى الكم (٢)، بينما ما زلنا هنا نعتني بالتراكب). ونتيجة التعامد فلا تتداخل المستويات المعدة، وبالتالي تتلاشى حدود التداخل ويصنع تعقيد نظام الكم المتقدم والمستويات المعدة أقصى تمييز للمسار:

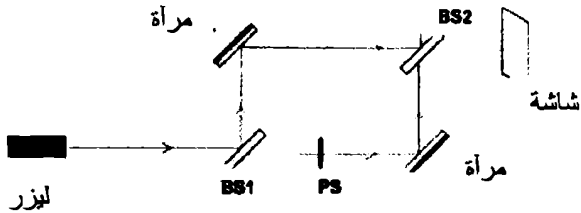
مكتبة الفكر الجديد

$$|\Psi^D\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\Psi_1\rangle|1\rangle + |\Psi_2\rangle|2\rangle). \qquad (7.22)$$

٣) محو معلومات المسار:

وفي النهاية، يوضع الجهاز المضاف لكي يعد مرة أخرى تراكب كل من <1| و <2| ، في مقترح سكلّي والمجموعة كان هذا الجهاز هو العداد الفوتوغرافي الموضوع خلف الغطاء المفتوح، وعمومًا فإن ما يتم الاحتياج إليه هو إعداد خطوات بسيطة تضرب في الدالة الموجية $|\Psi^{PM}\rangle$ مع بعض التراكب المناسب للمستويات المعدة <1| و <2|، مرة أخرى محدثة أهداب متداخلة مرئية:

$$|\Psi^{V'}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[|\Psi_1\rangle(a|1\rangle + b|2\rangle) + |\Psi_2\rangle(c|1\rangle + d/2\rangle)], \quad (7.23)$$



شكل رقم (٧-٥) جهاز قياس التداخل لماخ - زهندر

سبقت تجربة تحديد الاتجاه لمعلومات المسار والممحاة الكمية مقترح سكلّي ومشاركيه الذي تمت مناقشته في فقرة (٧-٤)، وانبنى على المقترح السابق لمجموعة سكلّي[1]، قد استعمل فيها مقياس التداخل لماخ - زهندر

---

(١) يعتمد (Zoo etal.1990) على مقترحات (Seully and druhl 1982, Zaionc1983) وقد تمت مناقشة التجربة فى (Greenstein and jonel1997,206-209) وتم تحقيق آخر لكل من (Scully and Druhl 1982) بواسطة (Kim etal.1999).

مكتبة الفكر الجديد

محققة نظامًا تجريبيًّا آخر ولكنها كانت متشابهة في عدة نقاط، وكانت الفكرة بسيطة جدًّا لكنها بارعة في إنجاز التجربة؛ لأنها تتطلب أجهزة ضوئية ذات دقة عالية.

١) يتم إرسال ضوء بشدة منخفضة في مقياس تداخل ماخ – زهندر كما في شكل (٧–٥) خلال نظام من اثنين من مشق الضوء BS_1 ، BS_2 ومرآتين بالطريقة نفسها التي يتقدمان على طول المسارين الممكنين ويتداخلان طبقًا لقوانين الديناميكا الكهربية والضوء الهندسي، ويوضع في أحد جوانب التجربة مزيح طوري PS لكي يغير الإزاحة الطورية للموجتين، ومشق الضوء الثاني BS_2 يعمل على تراكبها، وهكذا يكون هذا إعدادًا لحالة التداخل الكمي، وفي النهاية يتم عد الفوتونات المفردة عن طريق العداد الفوتوني D الموضوع وراء المشق الضوئي الثاني وعلى المدى فإنها تعطي نمط التداخل.

٢) يلي ذلك، وضع عداد بهذا – الطريق خلف المشق الضوئي-الأول في كل ذراع لمقياس التداخل، وتستخدم بلورتا تحويل سفلي غير خطية X_1، X_2 لتجعل حالة الفوتونين المتشابكين بتردد منخفض خارج نطاق أي فوتون يمر خلالهما، ويعد العدادان الإضافيان d_1، d_2 الفوتونات ذات التردد المنخفض المنفصلة عن طريق المحول السفلي ويعلم المسار (بعلامة)، ويقلل قياس المسار الدالة الموجية للفوتون الواثب من فوق اليسار من أحد أذرع مقياس التداخل ويجعل نمط التداخل يختفي، والنتيجة تكون خليطًا يحدث مربع السعة نفسه؛ مثل الحالة $|\Psi^D\rangle$ للنظام العام السابق في (٢٢. ٧).

مكتبة الفكر الجديد

٣) ومع هذا، فإنه يمكن محو معلومات المسار المأخوذة عن طريق العدادات الموضوعة بالطريق، ولفعل ذلك وضع مشق شعاع ضوئي ثالث BS_3 بين العدادين d_1، d_2 للفوتونات المتوقفة في الشق بالطريقة نفسها وهذه الفوتونات غير الموجودة في التجربة لها مسار بغير غموض أو التباس والآن يمكن للمحولات السفلية وللثلاث أشعة المنشقة والمعدة لحالات الكم المتداخلة في كل أذرع التجربة، وتأخذ الدالة الموجية الناتجة الشكل $\langle \Psi' |$ للصيغة (٣٣. ٧)، ويقيس العداد المتطابق الذي يربط بين عد الفوتونات المتوقفة بالشق عن طريق d_2 وعد الفوتونات الواثبة من اليسار عن طريق D سوف تسجل نمط تداخل.

وكانت النقطة الأخيرة حاسمة: يجب ملاحظة أن نمط التداخل سوف يشاهد فقط إذا نظرنا إلى العد التطابقي بين العدادين الاثنين، وبالطبع يكون للتداخل علامة مميزة للسلوك الكمي: وسوف لا يلاحظ هذا السلوك الكمي إذا أقمنا التجربة خطأ، ويلاحظ فقط عند العداد المفرد D حيث تكون التجربة خطأ: وإنها توحي إلى إظهار سلوك كلاسيكي – حيث يغيب التداخل[1].

في هذه الترتيبات التجريبية لقياس التطابقات بين d_1 و D سيظهر نمط التداخل أيضًا ولكن مع وجوب ملاحظة أن عد كل من d_1 و d_2 غير مترابط، ويمكن فقط عد فوتونات الشق المغلق عن طريق عداد من أحد العدادين d_1 و d_2 ، وبالتالي يمكن الحصول على نمط التداخل من تطابقات العدادين d_1 و d_2 وسيتمكن العداد D من تجميع الأهداب وأضداد الأهداب معًا؛ ليحدث اختفاء نمط التداخل للترتيب (٢). لقد تم التنبؤ بسلوك المجموعة نفسه

---

(1) Greenstein and Zajonc 1997, 208-209.

مكتبة الفكر الجديد

بالضبط في عام ١٩٩١ بواسطة سكلّي ومعاونيه ولوحظ في تجارب المحو الكمي التي جاءت بالتقرير بأسفل.

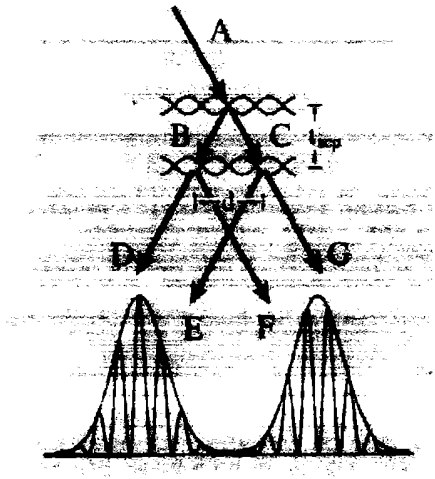
لقد اقترح كل من سكلّي وإنجلرت ووالثر إعادة الترتيبات التجريبية المماثلة للشق المزدوج، وكان الفرق الرئيس هو فكرة عدم القراءة الفورية لمعلومات المسار عن طريق عد الفوتونات، ولكن بتخزينها فقط طبقًا لنظامهم التجريبي ويتحقق ذلك بتشبيك موجات الكم المتقدمة خلال الشريحتين وحالات الكم للعدادات التي بطريقها، وهذا يتطلب نظامًا كميًّا تحت الفحص ليكون له درجات حرية داخلية. فعندما يتشابك النظام مع حالات عداد فإن حالتها الداخلية تعلِّم (تترك علامة) على المسار، ويحل هذا التعقيد محل تشابك حالة الفوتونين (٢ –فوتون) في الترتيب التجريبي السابق، والآن أصبح من غير الضروري عمل أي قياس فوتوني أو عد جسيمي لكي تحصل على معلومات مسار، وأنه يكفي تحضير أو إعداد الموجات.

لقد تحقق نظام سكلّي حديثًا في مقياس التداخل الذري[1]، وتوليد شعاع ذرات الروبيديوم ^{85}Rb بوسائل مصيدة الضوء – المغناطيسي، والشق وجعله يتداخل مع نفسه، ولا يتم إرسال الشعاع الذري خلال الشق المزدوج ولكن خلال نبضتين موجيتين ضوئيتين موقوفتين، واستخدموا تأثير انقسام الشعاع

---

(1) Durr et al. 1998a,b,2000a. تم حذف التفاصيل التقنية جميعها فيما سوف يلي

مكتبة الفكر الجديد



شكل (٧-٦) مقياس تداخل ذري، مطبوع بإذن من شركة النشر المحدودة لماكميلان:

Durr, S., Nonn, T., and Rempe, G.: Nature 395, 33-37 (©1998)

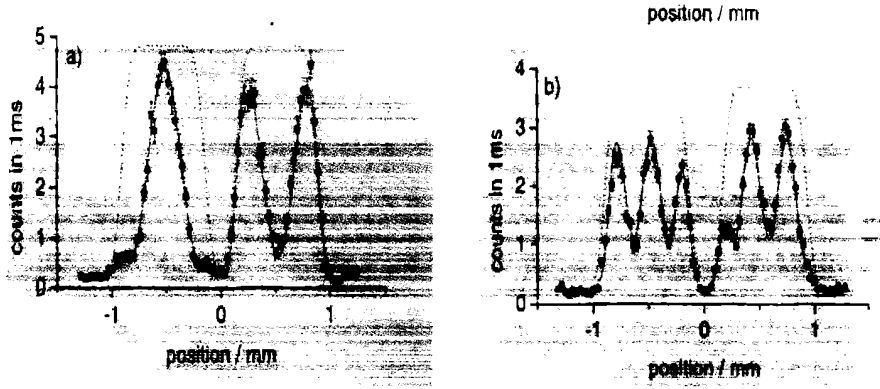
الذري مرتين إلى شعاع نافذ وشعاع براج – المنعكس، وتكون المسافة بين الموجتين الضوئيتين الموقوفتين مثل تلك النافذة وشعاع براج المنعكس للموجة الأولى المنشقة مرة أخرى للموجة الضوئية الموقوفة الثانية عند مسافة d والتي تكون مماثلة للمسافة بين الشريحتين في تجربة الشق المزدوج، ويشاهد التوزيع المكاني للذرات في المجال البعيد بإثارتهم عن طريق شعاع ليزر وعد الفوتونات الوميضية، في المرحلة (٠) ينشق الشعاع الذري مرة واحدة عن طريق موجة ضوئية موقوفة فقط ويتم عد الذرات في المجال البعيد، وتصل الذرات من الشعاع النافذ ومن شعاع براج – المنعكس عند موضع معرف جيدًا، وعادة لا يشاهد تداخل.

مكتبة الفكر الجديد

في المرحلة (١) تضاف موجة ضوئية موقوفة ثانية وتولد شعاعين نافذين متداخلين وشعاعين منعكسين لبراج متداخلين، والآن يشاهد نمطين موضعين متداخلين في المجال البعيد (انظر شكل ٧-٧).

في المرحلة (٢) استخدم مستويين داخليين أو مستويات طاقة ذرة ^{85}Rb كعلامة للمسار، ينقسم المستوى الأرضي لـ ^{85}Rb إلى مستويين فائقي الدقة $|2\rangle$ و $|3\rangle$ ذات كمية حركة زاوية مختلفة وطاقة طفيفة الاختلاف، ولكي يستخدما كعلامات مسار يتم توليف موجة الضوء الموقوفة الأولى بطريقة كون ترددها نفسها في الوسط تمامًا من الترددات التي يحتاجها لإثارة المستويات $|2\rangle$ أو $|3\rangle$ إلى المستوى المثار الأول $|e\rangle$. ولكي تتراكب هذه المستويات توضع موجة الضوء الموقوفة الأولى في حالة الرنين للموجة الميكرونية؛ أي أنها "محصورة" بين نبضات موجية ميكرونية والتي تكون رنينية مع فرق الطاقة بين المستويين $|2\rangle$و $|3\rangle$، ويكون تأثير النبضة الأولى الميكرونية هو أن يكون لشعاع براج المنعكس إزاحة طور π، وقد تستعمل هذه الإزاحة الطورية كعلامة مسار؛ حيث يكون الشعاع المنعكس بعد مرور النبضة الثانية الميكرونية في المستوى $|2\rangle$ بينما يكون الشعاع النافذ في المستوى $|3\rangle$، ومن ثم فإن المستوى الأرضي لذرات ^{85}Rb في المجال البعيد يخزن المعلومات التي تكون الأساسية من الشعاع النافذ أو المنعكس، ومع هذا فإن المستويين $|2\rangle$ أو $|3\rangle$ التي تخزن معلومات المسار تكون متعامدة.

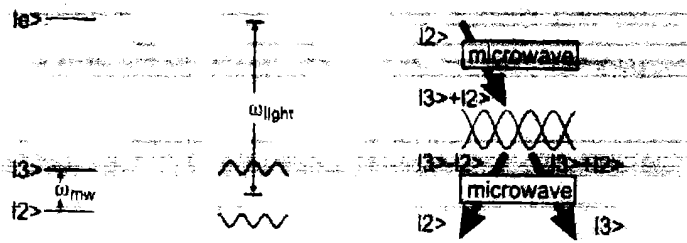
مكتبة الفكر الجديد



شكل (٧-٧) نمط أهداب المكان في المجال البعيد لمقياس التداخل، يوضح الخط المتصل المتفق في نتائج التجربة (دوائر)، ويوضح الخط المنقط القياس المستقل ظرفيًا.

نشر بإذن من شركة النشر المحدودة لماكميلان:

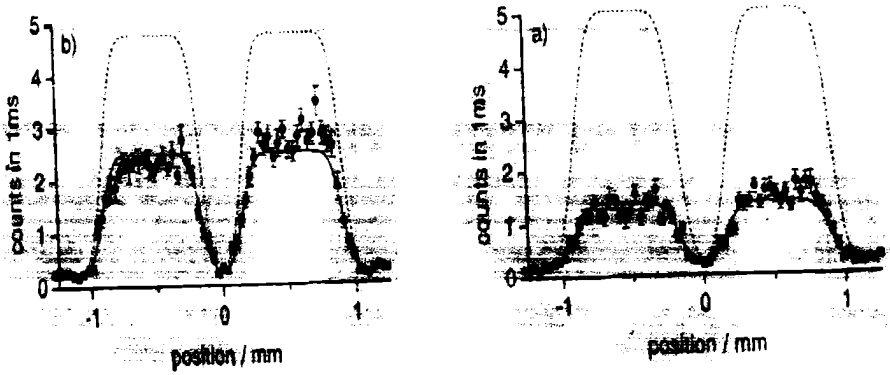
Dürrs., Nonn, T., and Rempe, G.: Nature 395, 33-37 (©1998)



شكل (٧-٨) علامة المسار. نشر بإذن من شركة النشر المحدودة لماكميلان: Dürr, S., Nonn, T., and Rempe, G.: Nature 395, 33-37 (©1998)

وبالتالى تتطابق حدود التداخل المتلاشية بـ(٧,٢٢) للنظام المخطط العام السابق، وفى الحقيقة لا يشاهد تداخل فى المجال البعيد (انظر شكل ٧-٩).

مكتبة الفكر الجديد



شكل (٧-٩) تداخل مفقود. نمط المجال - البعيد الذري الذي تم الحصول عليه في مقياس التداخل مع التخزين بأي طريق في المستوى الذري الداخلي، في الجزء (a) الذرات فقط في المستوى $\langle 3|$ يكون عدها في المعلومات المقروءة بأي طريق وعلى النقيض في الجزء (b) حيث يتم عد جميع الذرات، وفي كلا الحالتين تفقد أهداب التداخل كنتيجة لتخزين المعلومات بأي طريق. نشرت بإذن من شركة النشر المحدودة لماكميلان:
Dürr, S., Nonn, T., and Rempe, G.: Nature 395, 33-37 (©1998)

وفي النهاية في المرحلة (٣) يتم قياس المستويات الداخلية المشاهدة مع المتجهات المميزة $\langle 2| \pm \langle 3|$ (١)، في هذه التراكبات بأي طريق تفقد المعلومات، وطبقًا لذلك فإن أنماط التداخل تعود للظهور في المجال البعيد، وأنماط التداخل التي تخص المجموعة الفرعية لمجموعة دون تداخل المرحلة الثانية (٢)، فإنها تكون أهدابًا وأضداد أهداب والتي تضاف حتى تصل لجميع المجموعة لجميع الذرات التي تمر خلال الموجة الضوئية الموقوفة الأولى وبعد ذلك تعد بطرق مختلفة وفي النهاية يتم عدها في المجال البعيد.

---

(1) Dürr et al.2000a, 57.

مكتبة الفكر الجديد

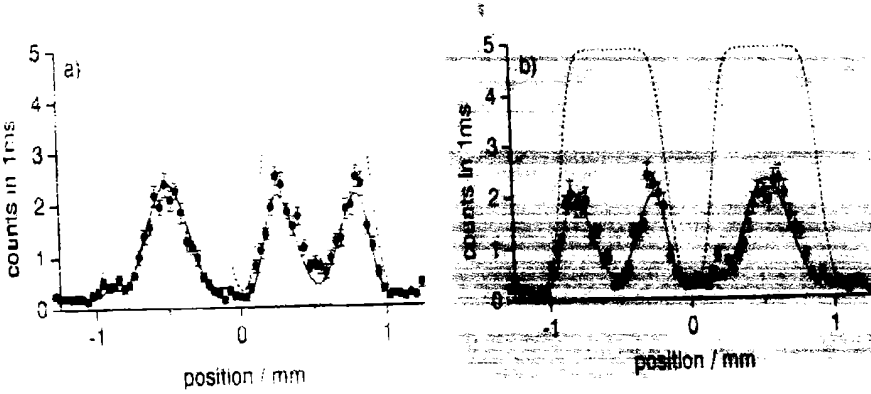
يحتاج عمل إحدى العلامات الحاسمة الارتباط بالمرحلة (٢) للتجربة، فقد أكد دُرْ وآخرون أنه لكى يلاشى نمط التداخل فإنه يكفي تخزين المعلومات بأي طريق وتصل المستويات الداخلية للذرات على الشاشة دون احتياج لقراءتها[1]، وتختفي أهداب التداخل عن طريق الحقيقة المجردة بأن الذرات في المجال البعيد تخزن المعلومات أينما تأسست من الشعاع الذري النافذ ومن شعاع براج المنعكس، وتعد الموجات ببساطة بالطريقة نفسها بأن تلاشى حدود التداخل نتيجة تعامد المستويات الداخلية، ومن ثم، لا يجب أن يؤخذ حد معلومات المسار ببساطة، وفي جميع خطوات التجربة يعد الشعاع الذري كموجة، والبناء التجريبي للمرحلتين (١) و (٣) بعد موجات التداخل بينما يعد الترتيبان (٠) و (٢) للموجات غير المتداخلة.

لقد حقق والبوزن ومعاونوه في عام ٢٠٠٣ نظامًا تجريبيًّا مماثلاً بالفوتونات والشق المزدوج، وقد استخدم فى هذه التجربة مستوى الاستقطاب للفوتونات كدرجة حرية داخلية والذي يكون متطلبًا لتخزين معلومات المسار، ولقد جهزت الشق المزدوج مع ألواح الموجة الربعية ولهم تأثير إيجاد إزاحة طورية ($\frac{\lambda}{4}$) بين مركبات شدة المجال الكهربي وإعداد الضوء المستقطب السيار.

---

(1) Dürr and Rempe 2000a, 55.

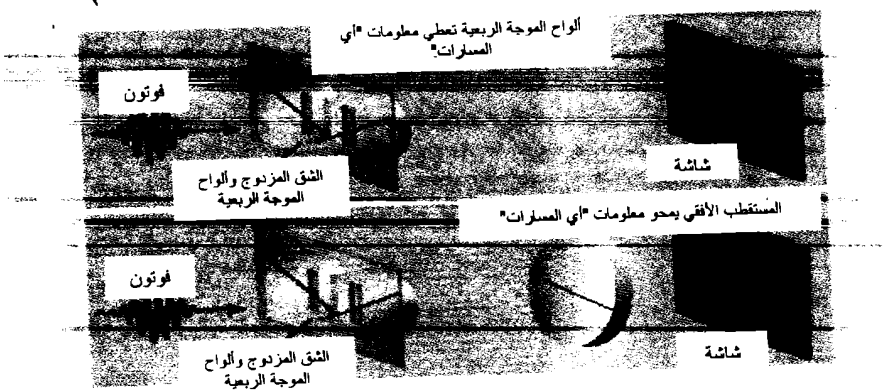
مكتبة الفكر الجديد



(شكل ٧-١٠) محو كمي. نشر بإذن من شركة النشر المحدودة لماكميلان:

Dürr, S., Nonn, T., and Rempe, G.: Nature 395, 33-37(©1998)

ويكون البناء التجريبي مثل مرور موجة الضوء خلال الشق ١ له استقطاب اليد اليمنى، بينما يكون لموجة الضوء التي تمر خلال الشق ٢ استقطاب اليد – اليسرى، وتعمل علامة المسار على اختفاء نمط التداخل، ووضع المستقطب الأفقي يمحو معلومات المسار، (انظر شكل ٧-١١).



شكل (٧-١١) علامة مسار ومحوها للفوتونات

(Walborn et al. 2003, 341)

مكتبة الفكر الجديد

[...] توضع ألواح الموجة – الربعية وراء الشرائح محولة الفوتونات للدوران– يسارًا والاستقطابات دوران – يمينًا على التوالي، وهذا يصنع معلومات "أي – مسار" متوفرة للتجريبي وتختفي أهداب التداخل [شكل ٧–١١ (العليا)]. ومع هذا يحول المستقطب الأفقي [شكل ٧–١١ (السفلي)] أي من الاستقطاب الدائر إلى الاستقطاب الأفقي حتى لا يوجد طويلاً أي طريق للتمييز بين الفوتونات الذاهبة خلال الشق العلوي والسفلى. تمحى معلومات "أي – مسار"، و [...] تعود أهداب التداخل[1].

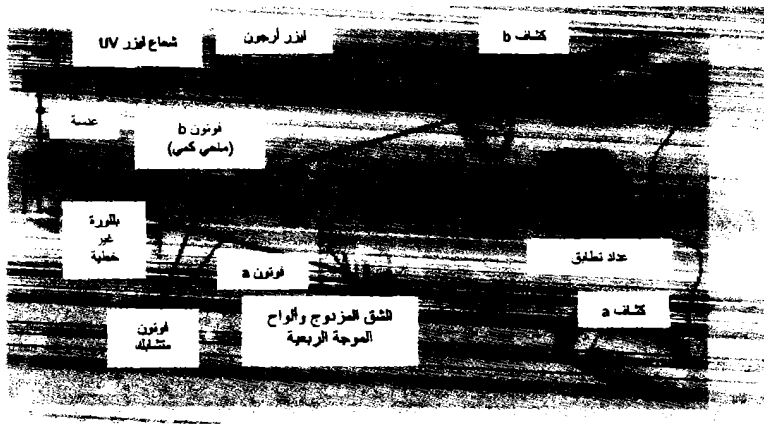
لكي يدرس المحو الكمي بعد تأخير مختار، يولد زوج فوتوني متشابك من طريق بلورة غير – خطية مثل تلك المستخدمة في تجربة مقياس التداخل لماخ – زهندر التي تمت دراستها سابقًا، فكانت النقطة الحاسمة في إمكانية إعداد المحو الكمي لمعلومات المسار الآن بوسيلة المستقطب الذي يوضع في الفرع الآخر للتجربة، ويكون الترتيب التجريبي الآن كما يلى: تجهز الشق المزدوج مع ألواح الموجة – الربعية ذات المحاور عند 45± درجة، ويكون لها تأثير إيجاد إزاحة طور $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ بين المركبات القطرية لشدة المجال الكهربي والضوء المستقطب السيار الدائر المعد، ومن ثم حيثما استقطب الضوء أفقيًا أو عموديًّا وأعدت ألواح الموجة – الربعية التي وراء الشريحتين للموجات الضوئية المستقطبة السيارة دائريًّا للوضع المضاد، ولكن لا تأثير لها على الضوء ذى الاستقطاب القطري، وفي هذا الترتيب فإن المراحل الثلاثة (١) إعداد التداخل (٢) وضع علامة للمسار و(٣) محو معلومات المسار، تكون كما يلي:

---

(1) Walborn et al. 2003, 341.

مكتبة الفكر الجديد

١) الشق المزدوج يقوم بإعداد موجات التداخل، ولا يوضع المستقطب قبل العداد الفوتوني الذي يعد التداخل أو عدم التداخل (شكل ٧-١١) ولكن يوضع في الفرع الآخر للتجربة وذلك ليستقطب الفوتون الآخر للزوج الفوتوني المتشابك (انظر شكل ٧-١٢).



شكل (٧-١٢) ممحاة كمية بمؤخر زمني اختياري، "في تجربة التأخير الاختياري ينتج لنا زوج فوتوني متشابك والذي نسميه "a" و "b" بنفس طريقة مشاهدة الفوتون a وله استقطاب أفقي وبالتالي سيكون ضروريًا للفوتون b أن يكون مستقطبًا عموديًا والعكس بالعكس" Walborn et al. 2003, 342

٢) يقوم المستقطب الأفقي أو العمودي المفعل على الفوتون b بإعداد الفوتون a في مستوى الكم بربط خطي للمستقطبين القطريين العموديين، وبهذه الطريقة يتم إعداد الفوتون a في المستوى بمعلومات المسار عن طريق أمواج الموجة الربعية الموجودة خلف الشق المزدوج.

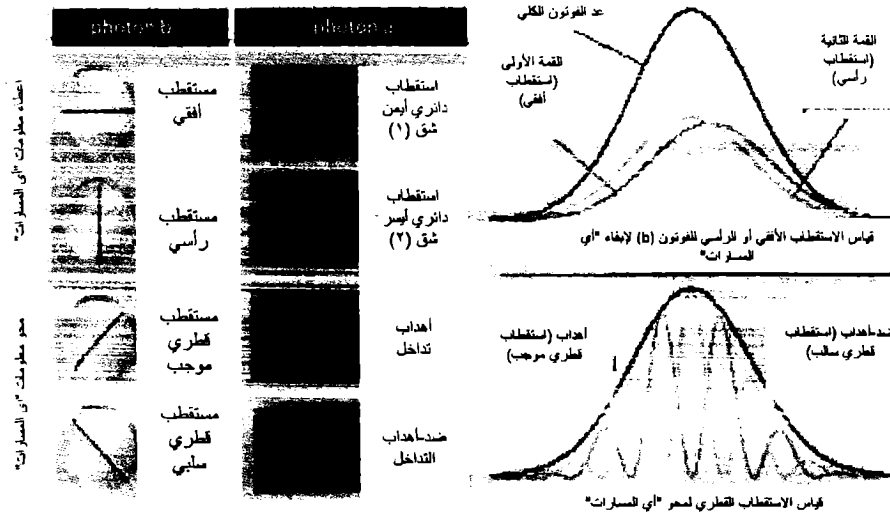
مكتبة الفكر الجديد

٣) ومع هذا فعندما يعمل المستقطب القطري على الفوتون b فإن الفوتون a يستقطب قطريًا ولا يكون هناك تأثير لألواح الموجة الربعية عليها. ومن ثم يمحو المستقطب القطري معلومات المسار المخزنة في المستقطب الفوتوني ويعاد تثبيت التداخل.

٤) وبالعودة الآن إلى المستقطب بين الاستقطاب الأفقي والقطري والعمودي والذي يجعل الموجة تمر في الشق المزدوج وألواح الموجة الربعية الفاصلة بين أهداب التداخل وعدم التداخل وأضداد الأهداب، ومرة أخرى عداد التطابق يكون حاسمًا وأنه يصنف المجموعة دون نمط التداخل إلى مجموعتين فرعيتين بالأهداب ونقيض الأهداب التي تضاف حتى تصل المجموعة الكلية (انظر شكل ٧-١٣) والاختيار المؤجل يكون مجرد الاختيار للنظر إلى واحد من المجموعة الفرعية المفضلة عن الأخرى، وأنها "مقادير لتغير في دفاتر الحفظ ولا تغير في قصة الأحداث الماضية"[1].

(1) Walborn et al.1993, 343.

مكتبة الفكر الجديد



شكل (٧-١٣) اختيار مجموعات الكم

(Walborn et al. 2003, 343)

وعند هذه النقطة وجب ذكر تجربة أفشار الحديثة للشق المزدوج[١] وأتت أيضًا تحت عنوان تجربة أي- طريق مع أنها ليست واحدة (نفسها) فقد أضاف أفشار الأجهزة التالية للتجربة المعتادة للشق المزدوج ذات الفوتونات المنفردة، فقد وضع خلف الشق المزدوج عدسة تصور فتحتي الشق المزدوج على الشاشة طبقًا لقوانين الضوء الهندسي، ويكون للعدسة التأثير في عدم ظهور نمط التداخل للشق المزدوج وظهور أقصى قمتين لشدة الضوء والذي يكون صورًا للشق المزدوج، وبعد ذلك وضع شبكة قبل العدسة التي تشغل تمامًا أقل نمط تداخل للشق المزدوج وتسمح للأقصى بالمرور، وتظل الصور

(1) Afshar 2003.

مكتبة الفكر الجديد

المنفصلة للشق المزدوج ظاهرة على الشاشة حتى لو طمس نمط تداخل ضعيف ومشوش على كل منهم.

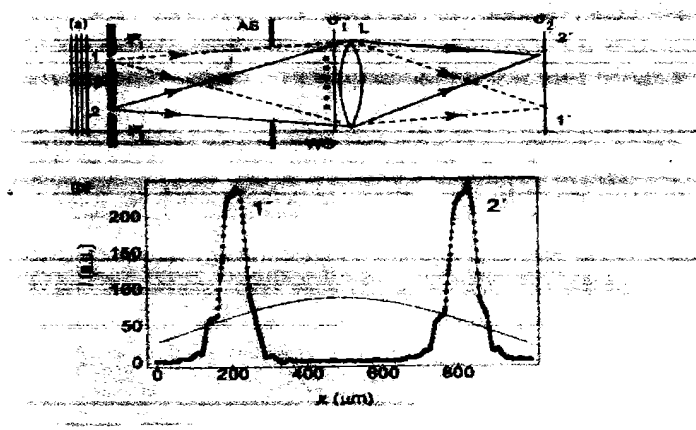
وكان متطلب أفشار أن صور العدسة تغير الحيود عند الشق المزدوج إلى قياس مسار محدث- لتجربة ذلك الطريق، ومع هذا، فهذا غير حقيقي، فإن خطوات التصوير تعد الموجات فقط الخاضعة لقوانين الضوء الهندسي، ومع ذلك فإن الشق المزدوج والعدسة والشبكة التي قبل العدسة تعد الموجات، وفقط في العد الجسيمي على الشاشة تتمركز الفوتونات في النهاية، وحقيقة يكون شعاع الليزر ذا شدة عالية بضوء كلاسيكي متسق يجب أن يعطي النتائج نفسها بدقة ويكون الفرق فقط في أنه يتم عد فوتونات الشعاع ذى الشدة المنخفضة كجسيمات تبعًا للمفهوم الإجرائي للجُسيم (OP) الموجود في الفقرة (٦-٣)، ولكن لا يوجد قياس مأخوذ سواء الفوتونات المارة خلال شق أو خلال الآخر كما تتطلبه تجربة تلك الطريقة حقًا، وبوضوح فلم تقم العدسة بعد الفوتونات المفردة ولا تخزن معلومات المسار للفوتونات المارة، ولم تجلب أجهزة أفشار التجريبية أية معلومات حول مسار الفوتون، لقد دعته فكرة المسار الجسيمي أن يفكر في أن الفوتون الذي يتم عده في إحدى الصور يجب أن يكون مساره خلال الشق التالي[١]. ولكن هذه الفكرة لم تحدث أي قياس، وفي تجربة تلك الطريقة يصنع قياس المسار اختفاء أهداب التداخل، ولكن هنا فإن اختفاء أهداب التداخل يكون نتيجة الصور الضوئية، وهذا لا يحدث قياس مسار، إن اختفاء أهداب التداخل يمكن شرحها كاملاً بمساعدة صور الشريحتين بدلالة الضوء الهندسي.

---

(١) هذه النقطة تم نقدها أيضًا في: Kastner 2005,653.

مكتبة الفكر الجديد

من ثم فإن تجربة أفشار لم تزد ولم تقل إثـارة عـن تجربـة الـشق المزدوج الأصلية ذات الفوتونات المفردة والإلكترونات، وهي لم تعكس أيـة ملامح جديدة لازدواجية الموجة – الجسيم على الإطلاق، وفقط نتيجة فكـرة أن تكون الصورة الضوئية قياسًا مساريًا[1] تجعل التجربة تبدو مدهشة ومـع هذا سيتطلب قياس المسار الحقيقي مخزن معلومات مساري قبل العدسة، فـي الاختلاف المناقض لتجارب تلك الطرق المذكورة سابقًا، فبشكل غير منطقـي كان مطلبًا لأفشار أن تكون تجربته النوع نفسه، ففي تجربته أعدت خطـوات متتابعة لإعداد موجات في تراكبـات مختلفـة، فبالعدسـة تتراكـب صـور الشريحتين، وعند النهاية فقط يتم عد الجسيمات، إذا طبقت صورة الجسم قبل القياس النهائي للموجات المعدة يظهر ارتباك للمفاهيم.



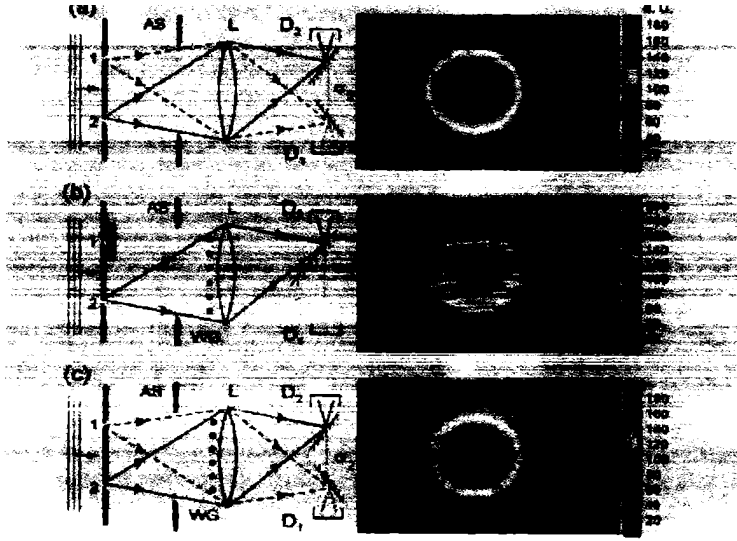
(شكل ٧–١٤) تجربة الشق المزدوج لأفشار

(Afshar 2003)

---

(١) ينسب أفشار **Afshar** في مذكرته رقم (٢٣) هذه الفكرة إلى ويلر، إلا أنه يبدو صعوبة توافق هذه الفكرة مع آراء ويلر، انظر على سبيل المثال: **Wheeler 1979-1981**.

مكتبة الفكر الجديد



شكل (٧-١٥) نتائج أفشار (Afshar 2003)

٧-٦ مسببات الظواهر

لقد ألقى مذهب ازدواجية الموجة - الجسيم وظواهر الضوء الكمي ضوءًا جديدًا مدهشًا على المفهوم العلي للجسيم. فلم تكن ثمة أسباب واضحة لنتائج التجارب ذات الفوتون الواحد أو الذرة الواحدة. وقد انطوى ذلك في جانبين من الفهم، ففي أحد الجوانب لم يتم التمكن طويلاً من إعادة تكوين روايات علية للعد الجسيمي المنفرد بغير التباس، ومن الجانب الآخر ينتهي المفهوم العلي غير الصوري إلى عدة مفاهيم نظرية من العلية، وقد وظف كل ذلك في تفسير ظاهرة الكم مثلما ظهرت في التداخل باختفائها نتيجة مخزن معلومات المسار وإعادة ظهورها نتيجة المحو الكمي.

مكتبة الفكر الجديد

فبالنسبة إلى جميع التجارب التي تمت مناقشتها في هذا الفصل لم تتمكن طويلاً من إخبارنا بغير التباس بالرواية العلية حول عد الجسيمات المعروضة تحت الفحص، فتوجد أحداث اختلقت مجموعة متداخلة، وكأن لكل حدث من المجموعة سببين. وهو ما تم إثباته – بشكل أكثر إبهارًا – في حالة تجربة بفليجور – ماندیل. وهنا يأتي فوتون واحد من شعاعي ليزر متسقين وشوهدت أهداب تداخل في مجموعة من عديد القياسات المستقلة عن بعضها وأمكن شرحها عن طريق افتراض أن كل فوتون يتداخل مع نفسه (كما أكدها ديراك)[1]. وأتى ذلك في تراكب (٣. ٧) ولم يكن في خليط الفوتونات غير المتداخلة من شعاعي الليزر L_1, L_2، وليست حالة الفوتونات المستقطبة التالية بطريقة أفضل من وجهة النظر العلية، فالمستقطبات عبارة عن ممتصات. فتمتص جميع الإشعاعات المستقطبة العمودية عليها، ومن ثم بوضع مستقطبين متقاطعين عند 90° فلا يدع أي شعاع ضوئي يمر من خلالها، ومع هذا إذا وضع مستقطب ثالث بينهم تظهر إشارة ضوئية بشدة ضعيفة بمجرد أن لا تكون عمودية على أي من المستقطبين الآخرين، وفي صورة الجسيم لا توجد قصة علية تستطيع أن تفسر لماذا يصنع الممتص الثالث إعادة ظهور للإشارة التي تلاشت سابقًا بواسطة هذين الممتصين، وفي تجارب ذلك الطريق أيضًا فإن الجسيمات التي تم عدها على الشاشة لم يكن لها قصة علية غير ملتبسة كما لم يطل عدم وجود معلومات مسار مخزونة أو بمجرد تخزين معلومات المسار فإنها تمحى، وتتوفر القصة العلية فقط بدلالة معلومات المسار عند تحديد التداخل المتلاشي.

---

(1) Dirac 1958, 9.

مكتبة الفكر الجديد

يستعمل في إعادة تكوين الرواية العلية غير الملتبسة مفهوم واحد فقط للعلية يسمى متطلب العلاقة غير الملتبسة والاتصال التام بين العلة والمعلول، طبقًا للمبدأ الاعتيادي للعلية فإن أي تأثير يجب أن يكون له سبب يحقق هذا المتطلب، نتيجة مشكلة القياس الكمي الشهيرة فقد فشل المبدأ الاعتيادي للعلية عند مستوى الأحداث المنفردة محدثة فجوات علية في شرح العمليات دون الذرية، إن القصص العلية غير الملتبسة والمفتقدة للضوء الكمي كانت أمثلة مدهشة لذلك. (حالة مسارات الجسيمات تختلف تمامًا، وهنا من غير التباس عن ما يحدث على طول المسار المعطى يكون عادة ممكنًا حتى لو أن ميكانيكا كم التشتت تحول دون التنبؤ بصفة عامة). ومع هذا، فبجانب هذه الفجوات العلية، يوجد العديد من القوانين الفيزيائية المستخدمة، فمن أحد الوجوه تصل الأحداث المنفردة أو العد الجسيمي عند مستوى المجموعة عن طريق قوانين الاحتمال، ومن جهة أخرى فقد وضعوا ما يعوق هذا الاتصال، وعلى سبيل المثال ما يتصل بإمكانية الإشارة.

بالفعل، في أي من التجارب السابق مناقشتها أنها شملت عدة اعتبارات للعلية، وبالنسبة إلى الجسيمات دون الذرية يكون تشابكها وتقدمها وتعيينها يتبع علاقة السبب ويخضع تأثير المفهوم التفكيكي للمفهوم الجسيمي ففي فيزياء الكم تصبح العلية مفهومًا عنقوديًا، وعملت النظريات الفيزيائية المختلفة المشمولة في نماذج فيزياء الكم العلية بدقة في حدود بديهية ولكنها لم تأت مجتمعة، فأدخلت في تجارب الضوء الفيزيائي والمفاهيم العلية بواسطة نظرية الكم والنسبية الخاصة استعملت على التوازي مع المبدأ الاعتيادي للعلية ولكن لم تأت هذه الاعتبارات العلية مجتمعة، وعلى وجه الخصوص

مكتبة الفكر الجديد

فإن المفاهيم العلية التالية تكون وثيقة الصلة للتفسير النظري لظواهر الضوء الكمي:

(C_0) **المبدأ التقليدي للعلية:** هذا هو المبدأ الذي فيه يكون كل تأثير له علة لأي شيء يتعلق بغير التباس، ويكون متصلاً تمامًا كلما أعد التجريبيون ذرة مفردة وإلكترونًا أو فوتونًا وإرسالها خلال جهاز تجريبي مثل مقياس تداخل ذري ومقياس تداخل ماخ – زهندر أو شق مزدوج واستعمال طريقة دقيقة للحصول على معلومات مسار وتعيين جسيمات منفردة على الشاشة واستعمالهم المفهوم التقليدي للعلية.

(C_1) **التحول الوحدوي للدالة الموجية:** هذا يكون العلية في مفهوم مذهب التحديد، فيتعين التحول الوحدوي للدالة الموجية عن طريق معادلة الموجة مثلما في معادلة شرودنجر ومعادلة ديراك ومعادلات ماكسويل أو بعض معادلات مجال الكم المتقارن، وطبقًا لهذا النوع من العلية تنتشر الدالة الموجية، وهذا ما يؤخذ في الاعتبار في إعداد خطوات التجارب الكمية.

(C_2) **قوانين الحفظ:** وهذه تكون العلية في مفهوم حسابات بور للتتامية في المستوى الفهمي (٣) (انظر بالفصل السابع ٧-٢-٢). فقوانين الحفظ مثلما في مبادئ حفظ كمية الحركة والطاقة تعوق جميع عمليات التشتت دون الذرية متضمنة الانبعاث والانتشار وامتصاص كمات الضوء[١] وترتبط العلية في مفهوم قوانين الحفظ باقتراب للتماثلات والقواعد فوق الانتقائية في الفيزياء، كما تمت مناقشتها في الفقرات (٥-٤) و(٦-٤).

---

(١) ومع ذلك فإن هذا ينطبق فقط على كمات المجال الواقعي وعمليات التشتت، وليس على العمليات الافتراضية التي تمت مناقشتها في الفقرة (٦-٤-٣).

مكتبة الفكر الجديد

(C_3) **علية أينشتين:** هذا هو المبدأ الذى لا يمكن أن توجد إشارة تكون خلال المسافات شبه الفضائية، وأنها تأتي من مبادئ النسبية الخاصة؛ أي من غير متغيرة لورنتز وأنها ترتبط باقتراب لحفظ الطاقة – كمية الحركة الزخمية، وفي نظرية مجال الكم يسمى هذا المبدأ أيضًا العلية – الميكروية (الدقيقة)، وطبقًا لهذا فإن كل مؤثرات المجال تعدل عند المسافات شبه الفضائية.

(C_4) **الاختزال غير–الوحدوي للدالة الموجية:** إن القياس يختزل أو يختصر الدالة الموجية إضافة إلى أن هذا يحدث علية احتمالية والقياسات الكمية تكون غير قابلة للنقض، وأنها تكون مصاحبة لعدم الاتساق وبعض أنواع الطاقة المتبددة نتيجة كمات المجال المنبعثة تلقائيًا والامتصاص الجسيمي عن طريق العداد وتأيين ذرات العداد وهلم جرًا وتكبير مثل تأثيرات بعض الإشارات في أجهزة القياس الماكروسكوبية.

إن المفهوم العلي (C_0) هو شكلي لما قبل – النظري، وبقدر ما كانت الفيزياء هدفًا للتفسيرات العلية فوجب الدقة بدلالة المفاهيم العلية من (C_1) – (C_4)، ومع هذا فقد وضح أن (C_4) على طرف نقيض مع (C_0). لم تحدد نظرية الكم ناتج قياس السبب المنفرد الذي يجعلها مرتبطة بغير التباس ومتصلة تمامًا، وهذه تكون مشكلة القياس الكمي، ولكي ندور حولها فقد اعتبر الفيزيائيون الاحتمال الكمي للموجات التي أعدوها متطابقة مع (C1) كما لو كانت هذه الموجات أشياء فيزيائية منفردة، وبالنسبة إلى الأنظمة الكمية المتشابكة والتحول الوحدوي (C_1) للدالة الموجية وقوانين الحفظ (C_2) تتنبأ بالترابطات غير – المحلية لنتائج القياس (C_4). اعتقد أينشتين أن إشارته

مكتبة الفكر الجديد

العلية (C_3) تحول دون مثل هذه الترابطات الكمية غير المحلية. دار البحث EPR حول هذا التعارض الواضح[1] ويعرف اليوم ما إذا كانت الترابطات الكمية غير المحلية تنتهك علية أينشتين. إنها لا تكن كذلك. فالإشارة التي تخللت المسافات شبه الفضائية عن طريق وسائل التشابك الكمي تكون مستحيلة ومن ثم تعايشت بهدوء الأنواع الأربعة للعلية ($C_4 - C_1$) الموجودة في التشابك الكمي.

ومع ذلك بقيت علاقاتها تتحدى أو تتصدى لأي تغيير في المذهب الواقعي العلمي والذي ينبني على اعتقاد كل من نيوتن وبلانك في وحدة الطبيعة أو قوانين التوحيد في الفيزياء، ومن ثم أخفى بوهميان نظريات لتفسير العوالم – العديدة وأشكال أخرى لميتافيزيقا الكم الناشئة والتي تأتي معها مشاكلها العلية الذاتية.

---

(1) Einstein et al.1935.

مكتبة الفكر الجديد

الفصل الثامن

واقعية ما دون الذرة

تُظهر ميكانيكا الكم أن واقعية ما دون الذرة ليس لها بنية كلاسيكية. فالعالم لا يتكون من جُسيمات وفقًا للمفهوم الميريولوجي والعلي للجُسيم. كما أن الطبيعة ليست "متوافقة مع نفسها وبسيطة" كما ظن نيوتن.[1] لقد تم تفنيد الافتراضات الميتافيزيقية التقليدية حول الأجزاء المكونة للمادة عبر مسار ثورة الكم، في الوقت نفسه الذي أظهرت ومضات الضوء ومسارات الجُسيم الناتجة عن أشعة ألفا ضرورة وجود جُسيمات دون ذرية. أظهرت ثورة الكم أن واقعية ما دون الذرة ليست كما أرادتها الفيزياء الكلاسيكية والميتافيزيقا التقليدية. ومع ذلك يُركز السجال الفلسفي حول تأويل نظرية الكم بشكل أساسي على الخيارات التالية: إما أن تكون لا حدثيا (أو حتى تُنكر وجود واقعية ما دون الذرة)؛ أو أن تحاول إعادة تأسيس الصورة الميتافيزيقية لواقعية تقترب قدر الإمكان من العالم المفقود للفيزياء الكلاسيكية.

لقد تم تحليل المفاهيم والمناهج والنتائج التجريبية لفيزياء ما دون الذرة من أجل إلقاء ضوء جديد على السجالات القديمة حول واقعية ما دون الذرة. وعلى وجه الخصوص تم إيضاح بعض الافتراضات الميتافيزيقية الحاسمة الكامنة وراء المنهج التجريبي للفيزياء الحديثة والمفهوم التقليدي للجُسيم؛ كما

---

(1) Newton 1730, Query 31.

مكتبة الفكر الجديد

تم استقصاء الأساس التجريبي والنماذج واللغة والمبادئ التوحيدية لفيزياء الجُسيمات؛ مع تحليل عائلة مفاهيم الجُسيمات الحالية؛ ومقارنة العديد من التفسيرات لازدواجية الموجة-الجُسيم؛ كما تمت مناقشة بعض التجارب الحاسمة في بصريات الكم من أجل البرهنة على ما تعنيه ازدواجية الموجة-الجُسيم في الممارسة الفيزيائية.

تتبقى مهمة واحدة ألا وهي تلخيص المُحصلات الفلسفية. وهي تأتي على الترتيب التالي. قمت بتلخيص موقفي بشأن الواقعية العلمية (فقرة ٨-١)، وعرضت ما توصلت إليه بشأن معنى مفاهيم الكم (فقرة ٨-٢)، وناقشت مصير المفهوم التقليدي للجُسيم (الفقرتان ٨-٣، ٨-٤)، وازدواجية الموجة-الجُسيم (فقرة ٨-٥)، وعرضت رؤيتي النقدية لواقعية ما دون الذرة (فقرة ٨-٦).

٨-١ إعادة النظر في الواقعية العلمية

على نقيض المواقف التجريبية والبنيوية التي ناقشناها في الفصلين الأول والثاني، فإنني أدافع عن نسخة أبستمولوجية معتدلة من الواقعية العلمية. وفقًا لهذه النسخة ينشأ عن النتائج المعززة جيدًا لفيزياء ما دون الذرة معرفة بالواقع التجريبي. وتدعم هذه المعرفة ثلاث نسخ من الواقعية العلمية: واقعية الخصائص، والواقعية البنيوية، والواقعية العلية. ومع ذلك، فإن نتائج القياس لكل من فيزياء الجُسيمات وبصريات الكم تدعم كل منهم إلى درجة ما.

مكتبة الفكر الجديد

١- واقعية الخصائص

إن الأحداث العارضة الملاحظة في مجس للجُسيمات والقيم المُقاسة للكميات الفيزيائية المنسوبة إليها تنتمي دون شك إلى الواقع التجريبي. من هنا تكون الجُسيمات موجودة بالمفهوم الإجرائي للجُسيم كما في الفقرة ٦-٣:

من الناحية الإجرائية، تكون الجُسيمات:

تجميعات من الكتلة m، والطاقة E، والمغزلية s، والشحنة q (MESQ)

قابلة للتموضع عن طريق مجس للجُسيمات (LOCPD)

كل منها مستقلة عن غيرها (INDEP)

إن الأحداث الموضعية الملاحظة في مجس للجُسيمات تمثل مجسات مستقلة للجُسيمات تسلك وفقًا لقوانين الحفظ وقواعد الجمع للكتلة، والطاقة، والمغزلية، والشحنة. يدعُم المفهوم الإجرائي للجُسيم واقعية تجميعات تلك الخصائص الديناميكية. وهذه التجميعات للخصائص الديناميكية أنواع طبيعية يتم اكتشافها تحت ظروف تجريبية مُعرفة جيدًا في بيئة ماكروسكوبية. إلا أن هذه الواقعية للخصائص لا تتطلب واقعية فيزيائية لحوامل تلك الخصائص بالمعنى الكلاسيكي، ولا فهم هذه الخصائص بالمعنى الأفلاطوني. فهي لا تقر بوجود مستقل للخصائص ولا لتجميعاتها. إنها لا توجد إلا من خلال جهاز قياس ماكروسكوبي[١].

---

(١) انظر: Falkenburg 1993b.

مكتبة الفكر الجديد

٢- الواقعية البنيوية

تعرض الخصائص الفيزيائية لجُسيمات ما دون الذرة بُنى كمية في تجارب فيزياء الجُسيمات وبصريات الكم. إن البنية الجبرية للموضوعات الملاحظة الكمية تمثل وصفًا صادقًا لظواهر ما دون الذرة، على حين يخفق البناء الكلاسيكي للواقعية الفيزيائية حين توضع ظواهر الكم غير المتوقعة في الحسبان.

وهذه نقطة في صالح الواقعية البنيوية؛ إذ يقدم الأساس التجريبي لأحداث التشت دون الذرية (فقرة ٣-٣) وقوانين الحفظ التي يتم التصنيف وفقًا لها دعمًا أبعد للواقعية البنيوية. وهذا ما يبرر اعتقاد الفيزيائي في النسقية الديناميكية أو "الداخلية" المرتبطة بقوانين الحفظ. ومع ذلك فإن الاعتقاد المكتمل في نظريات مجال الكم المناظرة والمفهوم الداعم لها لثبات المعايرة[١]، هو موضوع آخر تمامًا. تخضع أسباب مثل هذا المعتقد والدعاوى الأنطولوجية التي يتقيد بها للنقاش الفلسفي حول التفسير الفلسفي لنظرية الكم فيما وراء القياس، وهو ما لم تتم مناقشته في هذا الكتاب.

٣- الواقعية العلية

ختامًا؛ تتفق النسخة المعتدلة من الواقعية العلية مع الظواهر ونتائج القياس لفيزياء الجُسيمات. تنتمي علل الكشف عن الجُسيمات، ومساراتها، وأحداث التشتت، والرنينيات، والتشتت شبه النقطي عبر المقاطع، والوقائع النفاثة... إلخ، إلى الواقعية التجريبية. (وهنا يمكن توظيف حجة المعجزة

---

(١) انظر: Kuhlmann et al. 2002 and Lyre 2004.

مكتبة الفكر الجديد

الشهيرة لصالح الواقعية العلية). وحتى أسباب زحزحة هيدروجين "لامب" وانتهاكات القياس فى تشتت الليبتون – النويد غير المرن العميق واقعية. إن علل كل تلك الظواهر عمليات كمية تسلك وفقًا لقوانين الحفظ والتماثلات. ومع ذلك فهذه العلل في مجال الكم غير موضعية وتعتمد على السياق. وعلى وجه العموم لا يمكن فصلها سواء عن طريق المناهج التجريبية ولا عبر نماذج فاينمان التوضيحية لنظرية مجال الكم. إن ما نلاحظه في بصريات الكم من التلازمات غير الموضعية للكشف عن الجُسيمات يدعم ذلك أيضًا.

تُفند البنية الكمية لمجال ما دون الذرة كلاً من المفهوم الكلاسيكي للجُسيم والافتراضات الميتافيزيقية الداعمة. إن الجُسيمات دون الذرية ليست جواهر بذاتها كما أنها ليست أجزاء من المادة أو الضوء مُعرفة جيدًا بالمعنى الكلاسيكي، ولا عللاً موضعية لمسارات الجُسيم وأحداث التشتت. وهنا يتعذر الدفاع عن الواقعية الميتافيزيقية الكلاسيكية. بالمثل يتعذر التمسك بواقعية شاملة تقوم بالتأويل الحرفي لدالة الموجة الميكانيكية الكمية (بدلاً من التأويل الاحتمالي). إنها لا تفتقر إلى السند التجريبي فحسب. إنها تتعارض مع الأساس التجريبي للمفهوم الإجرائي للجُسيم نفسه، للسبب الآتي: إن كل العمليات الكمية تخضع لقانون الاحتمالات. تجريبيًا فإن الظهور الوحيد هو لأنواع معينة من الأحداث تحدث بتكرارات نسبية معينة. وهنا تكون طبيعة الحدث نفسها هي الحدوث الموضعي، في جهاز أو بيئة قياس ماكروسكوبية. ووفقًا لنظرية الكم وحدها؛ أعني التطور الوحدوي لدالة الموجة الميكانيكية الكمية، ما من شيء يحدث. وبهذا المعنى فدالة الموجة Ψ تكون عن نتائج قياس محتملة فحسب وليست عن العالم الواقعي. إضافة إلى ذلك، فإن أي

مكتبة الفكر الجديد

واقعية تأتي في صورة عوالم متعددة أو متغيرات خفية يجب أن تتماشى مع التلازمات غير الموضعية للجُسيمات النسبوية أو كمات المجال، وهي المهمة الصعبة، إن لم تكن المستحيلة.

٨-٢ معنى مفاهيم الكم

إن أحد معوقات مذهب الواقعية الكلاسيكية هو أن معنى المفاهيم الكمية فى حد ذاتها ضيق تماما. فلمعنى المفهوم الفيزيائي جوانب إجرائية وبديهية وإشارية (انظر ملحق أ). اتضح في الفصل الخامس تفصيليًا كيف تخفق الجوانب الإجرائية والبديهية والإشارية لمفاهيم الكم. فنسبة الخصائص الفيزيائية لجُسيمات ما دون الذرة لا ترتكز على نظرية واحدة موحدة ولكن على العديد من النظريات التي لا مقايسة فيما بينها. فللمفاهيم الحالية للجُسيمات دون الذرية جوانب بديهية تنبثق عن نظرية مجال الكم، وجوانب إجرائية ترتكز على قوانين القياس الكلاسيكية، وجوانب إشارية تتميز بالغموض.

وعلى وجه الخصوص، تعتمد الجوانب الإجرائية للكتلة والشحنة واللف المغزلي ...إلخ التي تُنسب إلى الجُسيمات دون الذرية؛ على المناهج والقوانين الكلاسيكية للقياس؛ وترتبط الجوانب البديهية لهذه الكميات الدينامية بقوانين الحفظ وتماثلات نظرية مجال الكم عمومًا؛ وتظل الطريقة التي تُشير بها هذه الكميات إلى جُسيمات ما دون الذرة أو العمليات الكمية غير واضحة. لا يُشير مفهوم مجموعة الجُسيم النظري Group theoretical particle concept (GT) في الفقرة ٦-٤ إلا إلى أنماط الجُسيمات، وليس إلى

مكتبة الفكر الجديد

الجُسيمات الفردية. ولا يمكن رأب الصدع بينه وبين المفهوم الإجرائي للجُسيم *(OP)* إلا عبر الاعتقاد، والثقة في وحدة الفيزياء التي تظل غير مُبررة من منظور المشكلة العويصة لقياس الكم.

إن الفجوة بين المفهوم الإجرائي للجُسيم ونظرائها في مجال الكم هي في واقع الأمر أقوى حجة في صالح اللا مقياسية الكُونِية. يرتكز المفهوم الإجرائي للجُسيم على مناهج القياس الكلاسيكي. إنها تكون مُعطاة من خلال الكميات المألوفة للكتلة والشحنة إضافة إلى مفهوم الكم للف المغزلي الذي يتم قياسه مع ذلك بوحدات من نصف العدد الصحيح للحركة الزاوية. يتم التعبير عن الكميات الفيزيائية الكلاسيكية من قبيل الكتلة والشحنة والحركة الزاوية من خلال دوال قيم حقيقية، على حين تناظر مشاهدات الديناميكا الكمية قياسات قيم إجرائية. تُنسب الأولى إلى ظواهر فردية على حين تُعزى الثانية إلى تجميعات احتمالية؛ أي إلى الكثير من نتائج القياس التي يتم الحصول عليها تحت الظروف التجريبية نفسها.

لذا لا يمكن ردم الفجوة السيمانطيقية بين المفاهيم الكلاسيكية والمفاهيم الكمية إلا على المستوى الاحتمالي. إن المعالجة غير المتماسكة ما هي أيضًا إلا حل احتمالي لمشكلة القياس الكمي. وعلى المستوى الفردي نجد أن نظرية الكم غير متسقة سيمانطيقيًّا بمعنى أن الجوانب البديهية والإجرائية لمفاهيم الكم لا تتضافر في وحدة واحدة. إن نظرية القياس غير المتجانس لفيزياء الجُسيمات تغلق الفجوة بينهما جزئيًّا لا غير. إنها تقوم بتوظيف قوانين الكم الكلاسيكية والمتوسطة لتحليل بيانات مسارات جُسيمات فردية وتدمجها مع المناهج الإحصائية من أجل تصحيح النتائج على مستوى احتمالي.

مكتبة الفكر الجديد

يرتكز منهج القياس هذا على تأسيس مقاييس الكميات الفيزيائية نزولاً حتى الذرات والنويدات والكواركات. بديهيًّا يعتمد بناء المقاييس على البديهية الأرشميدية لنظرية الأعداد الحقيقية (انظر ملحق أ). كما ترتكز إضافة إلى ذلك على العديد من المبادئ التوحيدية بعد–النظرية في الفيزياء. يُعد الافتراض الضمني الذاهب إلى أن الكميات الفيزيائية ثابتة من حيث الأبعاد أكثرها أهمية (انظر ملحق ب)، جنبًا إلى جنب مع قوانين الحفظ والتماثل في الفيزياء، وقواعد الانتقاء الفائق لميكانيكا الكم، ومبدأ بور للتناظر (التعميمي). كل هذه المبادئ معًا تتيح إمكانية تأسيس مقاييس للطول والزمن والكتلة. تتمتع هذه المقاييس بمنزلة شبه–ترنسندنتالية. ونظرًا إلى أنها تمثل دعامة لكل قياسات الفيزياء، فإنها شروط لإمكانية الخبرة الفيزيائية. ومع ذلك، فإن امتداد المقاييس نزولاً إلى مجال الكم ليس اعتباطيًّا. إنها مدعومة تجريبيًّا من خلال استخدام مناهج القياس المكررة؛ أي عن طريق الاستخدام المتماسك المتوازي لمناهج قياس شبه تجريبية ونظرية كمية. من هنا، فحتى لو لم تكن ثمة وحدة بديهية للفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكم، فثمة وحدة سيمانطيقية خفية مؤكدة في الفيزياء. إن البناء المتماسك لمقاييس الطول والزمن والكتلة يعطي مصداقية أعلى لواقعية الخصائص التي تم الدفاع عنها عاليه.

تترافق المفاهيم البديهية والإجرائية لفيزياء الجُسيمات قدر الإمكان في مقاييس الكميات الفيزيائية. علاوة على ذلك يتم توظيف مبدأ التناظر التعميمي لبور من أجل تأسيس مرجع لمراكز التشتت دون الذرية. وفى سلسلة النماذج التى تمت مناقشتها فى الفصل الرابع، قام مبدأ التناظر بربط تشتت "رذرفورد" الكلاسيكى بقياس معاملات الشكل فى الفيزياء النووية

مكتبة الفكر الجديد

بمفهوم "سلوك التدريج" فى تشتت الليبتون – النويد العميق غير المرن وبنموذج "كوارك–بارتون". فقد تم عبر هذه السلسلة من النماذج إيضاح كيف لا يخفق هذا البناء الكلاسيكي لواقعية ما دون الذرة دفعة واحدة ولكن بشكل تدريجي. قد لا يزال من الممكن وصف مراكز التشتت دون الذرية بدلالة توزيعات الشحنة الذرية، بقدر ما يكون ثمة تناظر مع النموذج الكلاسيكي لمواضع التشتت. ومن ثم فإن "النظر داخل الذرة" من خلال جُسيمات تجارب التشتت يعُطينا صورة واضحة وغير مُصنفة لمراكز التشتت دون الذرية طالما أن بعضًا من آثار التشتت الميكانيكي الكمي (آثار التبادل واللف) قد يُمكن إهمالها ويكون التشتت غير نسبوي.

من هُنا تفترض فيزياء الكم مُقدمًا لُغة الفيزياء الكلاسيكية. ودون المقاييس المألوفة للكميات الفيزيائية تظل أي نظرية كمية صياغة صورية مُجردة وغير مُفسرة. وبهذا الصدد؛ فإن آراء بور المهجورة بشأن حتمية اللغة الكلاسيكية هي الصواب بعينه. وحتى التماثلات، وقوانين الحفظ، وقواعد الاختيار الفائق لفيزياء الكم دون هذه المقاييس تظل رياضة بحتة. إضافة إلى ذلك فإن تطبيق أي نظرية كمية على أنساق فردية يقوم باستخدام ضمني لإحدى النسخ الأخرى لمبدأ التناظر التعميمي. وبحسب التطور الموحد لديناميكا الكم وحدها، ينبغي التأكيد مرة ثانية على أنه ما من شيء يحدث في العالم: ليس ثمة طقطقة في كشاف الجُسيمات، وما من ناتج مُحدد للقياس، أو مسار للجُسيمات في غرفة "ويلسون"، أو نمط تدخُل على شاشة الوميض، أو آثار مُلاحظة لذرة ما فى مصيدة "بول".

مكتبة الفكر الجديد

٨-٣ المفهوم الميريولوجي للجُسيم

تُعد الجُسيمات – في المفهوم التقليدي – الأجزاء الميكروسكوبية المُكونة للمادة والضوء. وحين تم اكتشاف الإلكترون، وجُسيمات ألفا، ونواة الذرة، وتم تقديم فرض الكم، اعتُبِرت هذه الجُسيمات مكونات للمادة والضوء بهذا المعنى. وبعد بزوغ ثورة الكم، لم يتبق إلا المفهوم الإجرائي للجُسيم وعائلة مفاهيم الجُسيمات الكمية التي ناقشناها في الفصل السادس.

يُفصل المفهوم الميريولوجي للجُسيم عن بناء المادة والضوء بدلالة علاقة الجزء بالكل (انظر الملحق هـ). إنه يتأسس على فكرة أن المادة تتكون من أجزاء يمكن فكها وإعادة تجميعها. ترتبط هذه الفكرة بشكل وثيق بالمناهج البنائية للفيزياء الحديثة؛ أعني المنهج التقليدي للتحليل والتركيب أو منهج جاليليو التفكيكي – التحليلي المُطبق في تجارب فيزياء الجُسيمات. إن المناهج التجريبية والرياضية للفيزياء الحديثة، على نحو ما أوضحنا بالفصل الثاني، وثيقة الصلة بالافتراضات الميتافيزيقية التقليدية لنظريات الفيزياء المعروضة في الفصل الأول. إنها تهدف إلى تفكيك الظواهر الطبيعية وتركيبها، وتعتمد على قابلية القوى العلية في الطبيعة للفصل. وينبثق عن هذه القوى العلية ميتافيزيقا تقليدية من خلال فكرة الجوهر. وتُعبر الفيزياء الحديثة عن هذه القوى العلية في حدود الذرات، والقوة، وجُسيمات ما دون الذرة.

من هنا ترتبط المفاهيم الميريولوجية للجُسيم بالمفاهيم العلية بشكل وثيق، حتى إن كانت الأخيرة تتلاشى تمامًا في مجال الكم. فبقدر ما تهدف تجارب الفيزياء الحديثة إلى التحليل العلي، تنشد أيضًا فصل الأجزاء المُكونة للمادة والضوء. تتعامل الميتافيزيقا التقليدية مع هذه القوى العلية ككيانات

مكتبة الفكر الجديد

منفصلة مستقلة بذاتها. تدين الواقعية العلية الحديثة في وجودها إلى هذا الفرض الميتافيزيقي حتى يومنا هذا. ومع ذلك فقد علمتنا فيزياء القرن العشرين أن القوى العلية دون الذرية ليست على هذا النحو. يدعم التحليل التجريبي في مجال الكم بعض القيود. وعلى وجه الخصوص، وفقًا لميكانيكا الكم ونظرية مجال الكم فإن علل التلازمات الكمية غير الموضعية، ليست محلية كما أنها غير قابلة للفصل. ومن ثم لا يمكن الدفاع إلا عن نسخة غير مُتشددة من الواقعية العلية على نحو ما اقترحنا في الفقرة ٨-١.

ولكن بالنسبة إلى الذرات والأجزاء المكونة لها، ينبغي أيضًا الوصول إلى نسخة غير مُتشددة من المفهوم الميريولوجي للجُسيم. ثمة إمكانية للتميز الواضح بين الأجزاء المُكونة للمادة – وفقًا للميكانيكا الكلاسيكية – بالمصطلحات الزمكانية؛ أي في حدود التوسع الميريولوجي المُعرف جيدًا (انظر الملحق هـ). إن الأجسام التي تُمثل نظامًا ميكانيكيًّا من قبيل النظام الشمسي لا تتداخل ويمكن تمييزها عبر مسارات واضحة.

يختلف الوضع في ميكانيكا الكم؛ إذ يُمكن هنا أن تتشابك الأجزاء المُكونة لنظام مُعقد وأن تتوافق الأجزاء المُكونة للمادة مع معايير أضعف. إنها تتداخل – بالمصطلحات الميريولوجية – زمكانيًّا وديناميكيًّا أيضًا. ويعني التداخل الزمكاني هنا أنه ليس ثمة مسارات واضحة تُميز جُسيمات ما دون الذرة، على حين لا يختص التداخل الديناميكي سوى بمحتويات مجال الكوارك ومضاده والجلونات بينما يعنى التداخل الديناميكى محتويات الكوارك ومضاده ومحتويات المجال الغروى والتى تسهم بالمزيد من كمية حركة النويد كلما زادت طاقة تجربة التشتت (انظر الفقرة ٦-٥).

مكتبة الفكر الجديد

وبصفة عامة، يتم وصف الأجزاء المكونة للجزيئات والذرات بواسطة دالة موجة للعدد (N) من الجسيمات كاملة التماثل (أو نقيضها):

تباديل (١-٨)

$$\Phi^N = \sum_{k_1,k_2,\ldots,k_N} c_{k_1,k_2,\ldots,k_N} \phi_{k_1}^{(1)} \otimes \phi_{k_2}^{(2)} \otimes \ldots \otimes \phi_{k_N}^{(N)} \pm$$

وبالتالي فليس لها أجزاء يمكن تمييزها جيدًا بمعنى أن تكون ثمة حالات ديناميكية منفصلة في فضاء هيلبرت. وما يتبقى هو تجارب التشتت التي تُعين مواضع البُنى شبه النقطية على مقياس طاقة معين من ناحية (انظر الفصل الرابع والملحق د)، وقواعد الجمع للكميات الديناميكية للكل وأجزائه على الجانب الآخر. إن قواعد الجمع – في فيزياء الجُسيمات – للطاقة- الكتلة، والشحنة الكهربائية، والشحنات الآخرى (التعميمية) من المذاق واللون، واللف المغزلي، وكمية الحركة؛ أمر حاسم[١].

أيضًا فيما يختص بالمفهوم الميريولوجي للجُسيم، نجد أن الصورة الكلاسيكية لواقعية ما دون الذرة لا تنهار دفعة واحدة، ولكن تدريجيًا. ويصدق هذا من نواحٍ عديدة:

١- قابلية مكونات المادة للعزل:

حتى إن كانت الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات ليس لها دوال موجية منفصلة داخل الذرة، إلا أنه بالإمكان عزلها عن الذرة وتعيين

---

(١) أنظر على سبيل المثال: **Perkins 2000, 166-168**.

مكتبة الفكر الجديد

موضعها على كشاف للجُسيمات. إنها أجزاء تجريبية للمادة بالمعنى الذي يقدمه المفهوم الإجرائي للجُسيم وبعض من قوانين الحفظ وقواعد الجمع. يختلف الأمر بالنسبة إلى الكواركات. فما من كسور معزولة للشحنات تم قياسها؛ حيث إنه ليس ثمة كواركات معزولة يتم تفسيرها من خلال تقييد الكواركات. إن الكواركات المكونة للمادة يمكن فقط أن تتموضع داخل النويد، فى التشتت غير المرن العميق للبيتون- نويد مع سلوك التدريج بدلالة البُنى شبه النقطية التى تتبع قواعد جمع معينة للكتلة والشحنة واللف المغزلي وكمية الحركة.

٢- تميز كمات المجال:

للفيرميونات نصف عدد صحيح من اللف المغزلي. وهى تتبع إحصائيات "فيرمى" ومبدأ "باولى" اللذين طبقًا لهما يكون كل جسيم من نظام مُعقد متعدد الجُسيمات في حالة ديناميكية مُخالفة؛ حيث يكون لكل حالة أعداد كمية متميزة. من هنا فحتى الأجزاء الفيرميونية للمادة لا يُمكن تمييزها زمكانيًّا مثل الجُسيمات الكلاسيكية، إنها على الأقل متميزة ديناميكيًّا؛ أي يمكن تمييزها جيدًا من خلال أعدادها الكمية. أما البوزونات فهي، على النقيض من ذلك، يكون لها عدد صحيح من اللف المغزلي وتتبع إحصائيات بوز-أينشتين. قد يحتل الكثير من البوزونات نفس الحالة الكمية أو نمط المجال. من هنا لا يُمكن تمييز الفوتون وكمات المجال للتفاعلات الأُخرى من خلال حالاتها الكمية. هنا يُخفق أي معيار للتمييز الميريولوجي؛ إذ إنها تتداخل من حيث الشكل الميريولوجي الصوري (انظر الملحق هـ)؛ لذا قد

مكتبة الفكر الجديد

يكون بإمكان المرء أن يقول: إن المادة تتشكل من الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والكواركات كأجزاء مُكونة. ولكن لا ينبغي للمرء أن يقول: إن الضوء يتكون من الفوتونات. فالضوء ليس مكونًا من ذرات أو كمات ضوء مُعرفة جيدًا بالطريقة التي تصورها نيوتن في عام ١٧٠٤ أو ما ظل أينشتين يتصوره عنه في بحثه الشهير عام ١٩٠٥ بشأن الأثر الكهروضوئي.

٣- محتوى المجال المعتمد على الطاقة لنظام مُركب:

قد يتضح أن نظام فيرميوني مُركب يحتوي على مجالات بوزون إضافية ليس لها أجزاء يُمكن تمييزها جيدًا. فيُظهر الاختبار التجريبي لقواعد جمع كمية الحركة للكواركات فى النويد أن جزءًا جوهريًّا من كمية حركة النويد لا يحملها كواركات "الندية" الثلاث التى تكون البروتون أو النيوترون. فكمية محتوى هذا المجال الإضافى تعتمد على طاقة التشتت للجسيمات المسبارة. فهى تُفَسّر بدلالة كميات المجال للتفاعل القوى، المعروفة بالغرويات، وما يسمى "بحر" أزواج الكواركات ومضادات الكواركات الافتراضية. وتزيد كمية كل منهما بزيادة طاقة الجسيمات المسبارة فى تجربة تشتت. وشوهدت تأثيرات مماثلة فى قياسات قواعد الجمع للمغزلية وكمية الحركة الزاوية[1]. وعلى ذلك فبزيادة طاقة التشتت، يزداد المحتوى الديناميكى للبروتون أو النيوترون أيضًا. وبهذا المعنى يكون التركيب تحت الذرى علائقيًّا. إنه يتغير مع تشتت الجسيمات المسبارة. لقد سار هناك جدل

---

(١) انظر: Perkins 2000, 162-192، وعلى وجه الخصوص 190-186، وأيضًا: Povh et al. 1999, 107-111.

مكتبة الفكر الجديد

بأنه بزيادة الطاقة (أو التحليل الفراغى) يكشف التشتت غير المرن العميق بُنى كسرية:

> بزيادة التحليل تبين الكواركات والغرويات أنها تتكون من كواركات وغرويات والتى يتضح فى طاقات أعلى أنها هى نفسها مركبة كذلك [...]. وتبقى الأعداد الكمية (المغزلية والمذاق واللون، .....) لتلك الجُسيمات كما هى؛ بينما يتغير فقط الكتلة والحجم والقارن المؤثر α_s. وعلى ذلك، يظهر بمعنى ما أن ثمة تشابهًا ذاتيًّا فى البنية الداخلية للجسيمات المتفاعلة بقوة[1].

من الجدير بالذكر أن هذا التفسير يقوم على تفسير حرفى تام للعمليات الافتراضية التى تم وصفها بدلالة رسومات "فينمان". ومن أجل دعم زعم من هذا القبيل، قد يتم وضع الاعتبارات نفسها في الحُسبان، كما فى حالة زحزحة مصباح الهيدروجين أو قياس وحساب $[(g-2)/2]$ للإكترون[2]. وعلى أية حال، يأمل الفيزيائيون فى انتقاء الحلات الغروية وبلازما الكوارك – غروى كمكونات للمادة على أساس الوقائع النفاثة jet events[3]. من هنا يستمر البحث عن مناهج تجريبية أفضل لفصل محتوى الديناميكا دون الذرية حتى فى النطاق الذى تنهار فيه الصورة الكلاسيكية للأجزاء المتمايزة للمادة.

---

(1) Povh et al. 1999, 11I.

(٢) انظر الفقرة ٦-٤، الجزء الخاص بالجُسيمات الافتراضية.

(3) Perkins 2000, 190-192.

مكتبة الفكر الجديد

٨-٤ المفهوم العلي للجُسيم

إن المفهوم العلي للجُسيم لم يضعف فى النطاق دون ذرى. فقد فشل ببساطة. ثمة جسيمات وثمة علل، ولكن تأثيرات الجسيمات وعللها ليست جسيمات؛ بل موجات ومجالات كمية.

إن المفهوم العلي للجُسيم وثيق الصلة بالافتراضات الميتافيزيقية التقليدية حول القوى العلية للطبيعة (انظر الفصلين الأول والثانى والفقرة ٣-٨). وطبقًا لذلك، فالجسيمات هى العلل الموضعية للتأثيرات الموضعية فى كشافات الجسيمات، وعلى وجه الخصوص فى تسلسلات الوقائع أو مسارات الجسيمات. والدرس المستخلص من نظرية الكم هو أنه ليس هناك مثل هذه العلل الموضعية. ولهذا جانبان: أولهما؛ أن واقعة واحدة لا تتسبب في الواقعة التالية (كما يتطلب المفهوم التقليدى للعلية)؛ حيث إن العلاقة بين الوقائع ليست حتمية[١]. وثانيهما؛ إن العلل بصفة عامة لا تؤثر موضعيًّا، كما يتطلب تحديد العلل بالجسيمات. إن العوامل العلية التى تكمن وراء قياسات المواضع المتكررة التى تُشكل مسار جسيم ليست موضعية. والعوامل العلية نفسها قد تسبب كشف الجسيمات التى تكون نموذج التداخل خلف الشق المزدوج.

ولكل الأسباب التى تم شرحها فى الفصول من الخامس إلى السابع، فللجسيمات آثار موضعية قابلة للمُلاحظة أكثر من كونها العلل غير القابلة للملاحظة لهذه الآثار. وما يتبقى هو المفهوم الإجرائي للجسيم. فالنظريات

---

(١) إن العلاقة احتمالية. إلا أن العلية الاحتمالية لا تفيد أيضًا، نظرًا إلى أن العلة الاحتمالية ليست حدثًا، ولكنها حالة كمية تنبثق عن إجراء إعداد أو قياس.

مكتبة الفكر الجديد

الكمية الحالية لم تعد تعضد مفهومًا عليًّا للجسيم. إنها على خلاف مع أية محاولة لتفسير النتائج التجريبية لفيزياء الجسيمات من خلال علل فردية لمسارات الجسيمات، ووقائع التشتت وحالات الرنين، ... إلخ. إنها لسخرية من تاريخ العلم والفلسفة ألاّ تاتى معظم الاعتراضات ضد المفهوم العلي للجُسيم من نظرة تجريبية أو أداتية للفيزياء. إنها تأتى من الفيزياء ذاتها.

وعلى وجه الخصوص، فنتائج التجارب الحديثة للضوء الكمى لا يمكن أن تكون نتيجة قوى علية موضعية. فلا يوجد فوتون واحد يأخذ هذا المسار أو ذاك خلال أفرع جهاز "ماخ- زندر" للتداخل، على الرغم من أن التجارب ما زالت تسمى تسمية مضللة؛ تجارب "تحديد الاتجاه". لا يوجد فوتون واحد تم خلقه بجهاز المستقطب (أى ممتص) عندما يوضع الأخير بين مستقطبين متقاطعين معًا ممتصين كل الفوتونات، وذلك فى تجربة المستقطب التى تمت مناقشتها فى الفقرة (٧-٣). والأكثر إدهاشًا أيضًا ألاّ يأتى فوتون واحد من هذا أو ذاك الليزر فى تجربة "بفليجور- مندل". وفكرة أن مجال الفوتون يتكون من فوتونات فكرة مضلّلة ببساطة (انظر الفقرة ٨-٣). وطبقًا لنظرية المجال الكمى، يوجد مجال كمّى متذبذب فقط يؤدى إلى توزيع إحصائى معين أو كشوف فوتونات، تمشيًا مع مبدأ حفظ الطاقة.

إذن ما علة مسار الجسيم؟ وما السبب فى كشوف الفوتونات المتلازمة فى تجربة التداخل للضوء الكمى التى تم شرحها فى الباب السابع؟ من وجهة نظر نظرية المجال الكمى النسبوى، فلن تصلح فكرة الموجة الفيزيائية الرائدة ولا المتغيرات الخفية بالمعنى الذي قدمه "بوهم". وبالإضافة إلى ذلك، فقد تم توظيف مفاهيم علية متنوعة فى التفسير الفيزيائى والفلسفى لمثل هذه

مكتبة الفكر الجديد

الظواهر الكمية (انظر الفقرة ٧-٦). فى تجربة "بفليجور- مندل"، لم يعد بالإمكان تقديم روايات علية غير مبهمة حول كشوف الجُسيمات الفردية. ففى تجربة المستقطب المشار اليها آنفًا، لا يمكن لرواية علية بالمعنى التقليدى أن تُفسر عودة ظهور بعض الفوتونات بعد إدراج المستقطب الثالث. وفى كلتا الحالتين، يكون المفهوم النظرى المسبق (أي التقليدى) للعلية فى خلاف مع التطور الوحدوى إلى جانب الاختزال غير الوحدوى لدالة الموجة. وفى حالة تلازم "أينشتين-بودلوسكى-روز" ، فالتطور الوحدوى لدالة الموجة الناتجة من وضع جسمين متشابكين، واختزالهما غير الوحدودى، وصحة قوانين الحفظ؛ على خلاف مع علية "أينشتين" طالما فسرناها في حدود قوى علية موضعية وليس فقط في حدود إمكانيات الإشارة.

وفيما يتعلق بالسعي، الميئوس منه ربما، لتفسير قبل-نظري للعلية، فالإجابة الوحيدة الصالحة بالنظر إلى مثل هذه الظواهر الكمية هى الآتى: إن القوى العلية الكامنة خلفها هى عمليات كمّية غير موضعية تخضع لبعض قوانين الحفظ، تؤدى إلى كشوف جسيمات موضعية، وتُظهر ازدواجية الموجة – الجسيم.

٨-٥ ازدواجية الموجة – الجسيم

نتيجة لثورة الكم، لم يعد هناك اليوم مفهوم مُتفرد للجسيم ولكن بالأحرى عائلة من المفاهيم للجسيم. وعلى المقياس الماكروسكوبى، فلا يزال النموذج الكلاسيكي للجُسيم مستخدمًا. (وتجد أفضل تحقيق لها في الأجرام السماوية للمجموعة الشمسية). ومع ذلك، ففى فيزياء ما دون الذرة ثمة العديد

مكتبة الفكر الجديد

من مفاهيم الجُسيمات الكمية. وعند هذه النقطة، قد يبرز التباس على مستوى المفاهيم بين الفلاسفة والفيزيائيين. فجسيمات فيزياء الجسيمات لا تُعتبر كلاسيكية ولكن تُظهر ازدواجية الموجة – الجسيم. وفي واقع الأمر، تنتمى هذه النظرة اليوم إلى الخلفية المعرفية النظرية الضمنية لأى فيزيائى.

لقد تم تحليل عائلة مفاهيم الجسيم فى الفصل السادس. إن ما لا يزال يشترك فيه اللاحقون للمفهوم الكلاسيكى للجُسيم (باستثناء كمات المجال الافتراضي) هو خاصية الاستقلال. إنها سمة حاسمة للمفهوم الإجرائي للجُسيم، أيضًا (انظر الفقرتين ٦-٣ و٨-١). ومثل المفهوم الميريولوجي والعلي للجُسيم اللذين تمت مناقشتهما سابقًا، فخاصية الاستقلال وثيقة الصلة بالمبادئ البعد-نظرية للتحليل التجريبي، أو لمنهج "جاليليو" التحليلي-التركيبي الذى يُشكل الفيزياء الحديثة. إن المذهب الذرى التقليدى والميكانيكا الإحصائية الكلاسيكية قد طرحا مسلّمة أن أجزاء المادة القابلة للانفصال والمعزولة هى قوى علية للظواهر الفيزيائية. هذه الأجزاء من المادة والقوى العلية كان من المتصوّر أن تكون مستقلة؛ أى أنها جواهر فى حد ذاتها. وفى مسار ثورة الكم، تقلّصت درجة الاستقلالية المسندة إلى أجزاء المادة وعلل ظواهر الجسيم. ويقابل هذا التقلص فى الاستقلالية الطريقة التى انهارت بها النماذج الكلاسيكية لمراكز التشتت دون الذرية وأجزاء المادة بشكل تدريجى.

فى الفصل السادس قمت بتصنيف عدة مفاهيم مختلفة تحت خاصية الاستقلال، ولم يُسعدني ذلك كثيرًا. فمفاهيم الجسيمات العديدة التى نوقشت فى ذلك الموضع قد وظّفت تقريبًا معنيين فرعيين للاستقلال ينبعان من الميكانيكا الكلاسيكية ولكن ينبغي التمييز بينهما مُجددًا:

مكتبة الفكر الجديد

إن الإستقلال يعنى أن الجسيمات:

(أ) قد تكون فى حالات عدم تفاعل أو عدم اقتران (حالة عدم الاقتران)،

(ب) وأن تكون شروطها المبدئية غير متلازمة إحصائيًا (حالة عدم التلازم).

إن حالة عدم الاقتران هي استقلال ديناميكى، وحالة عدم التلازم هي استقلال إحصائى. وفى الميكانيكا الكلاسيكية، تتضمن حالة عدم الاقتران أن حوامل الخصائص الديناميكية هى كيانات فى حد ذاتها؛ أى أنها جواهر بالمعنى الذي تُقدمه الميتافيزيقا الكلاسيكية. تتفاعل هذه الجواهر بشكل مستقل عن بعضها البعض. ومن جهة الجُسيمات الكلاسيكية، ينطوي هذا على السلوك الإحصائي (حالة عدم التلازم) وبذلك تكون (حالة عدم التلازم)، في الميكانيكا الكلاسيكية، مُشتقة من (حالة عدم الاقتران). وكل من خاصيتى الاستقلال يتفق مع المبدأ المنهجى (والميتافيزيقى) لتفكيك المادة الى أجزاء مستقلة. ويعنى الاستقلال الديناميكى أن الجسيمات قوى علية مستقلة فى حد ذاتها. ويؤدى هذا إلى استقلال إحصائى وعلى وجه الخصوص إلى كشوف مستقلة للجُسيمات. كل من المعنيين وثيق الصلة بأهداف التحليل العلي والميريولوجي وبالسمات البنائية للمنهج التجريبي الذى تم شرحه فى الباب الثانى. ومع ذلك، فإن (حالة عدم الاقتران) و(حالة عدم التلازم) هما أكثر من مُجرد بناءات؛ لأنه خلاف ذلك لن يكون مُمكنًا إجراء التجارب في الفيزياء، كما لن يتسنى لمفاهيم الديناميكا الفيزيائية البقاء (انظر الفقرة ٦-٦).

مكتبة الفكر الجديد

إن (حالة عدم التلازم)، في فيزياء الجُسيمات، وثيقة الصلة بالخصائص الإحصائية لكشوف الجسيمات الفردية، بينما تكون (حالة عدم الاقتران) خاصية بعد-نظرية للجُسيمات والمجالات على حد سواء. وفي مجال الكم، فإن خاصية الاستقلال، جنبًا إلى جنب مع المفهوم الكلاسيكي للجُسيم، تتداعى تدريجيًا وتصبح متميزة عن المفاهيم المختلفة للجسيمات الكمية. تتضمن مجموعة مفهوم الجُسيم النظري (حالة عدم الاقتران) دون (حالة عدم التلازم)؛ وعلى العكس من ذلك يقوم المفهوم الإجرائي للجُسيم بتوظيف (حالة عدم التلازم) دون (حالة عدم الاقتران). وبالإضافة إلى ذلك، ففى المجال الكمى، فإن كلا المعنيين للاستقلال يكمن وراءه قيود متنوعة. وبالتحديد، فإن الفيرميونات والبوزونات تُضعف جوهريًا من (حالة عدم التلازم)، وتحدث روابط غير موضعية وفى إطار التمدد الاضطرابى لنظرية مجال الكم والحاجة إلى عملية إعادة تطبيع، يتضح أن (حالة عدم الاقتران) تقريب من الدرجة الأولى. (وفى هذه النقطة، تشبه الجسيمات فى فيزياء الجسيمات تماما "أشباه الجسيمات" فى فيزياء الحالة الصلبة. انظر الفقرة (٦-٤). إن التفاضل بين هذين المعنيين للاستقلال قد تم فرضه بالقيود التى وضعتها نظرية الكم على هذه الافتراضات.

وعندما ينهار الاستقلال، يبقى التشابك الكميّ قائمًا. فهو يوصف بدلالة الحالات العديدة للجسيمات الكمية الميكانيكية وتراكباتها. إن تراكبات مركبات الحالات الكمية المتشابكة كانت أيضًا مفتاح فهم تجارب بصريات الكم ونتائجها المُدهشة، شاملة المحاوات الكمية quantum erasers (انظر الفقرتين ٧-٣، و٧-٥). فمن خلال الجُسيمات وحدها، تبدو نتائجها متناقضة. ولكن

مكتبة الفكر الجديد

بمجرد تطبيق الموجات الكمية على النماذج، تختفى كل الألغاز العلية؛ على نحو لا يمكن إنكاره، على حساب تعيين موجة احتمال مع قوة علية. ومع ذلك، وعلى أي حال، ماذا تعنى هذه الموجات الكمية من وجهة نظر فلسفية، عند تبنى أكثر أشكال مذهب الواقعية العلمية اعتدالاً – الذى تم وصفه فى الفقرة (٨-١)؟

فى الممارسة العملية للفيزياء، وجدنا على وجه التقريب تفسيرين لازدواجية الموجة– الجُسيم. يتبع أحدهما "ماكس بورن"، زاعمًا بشكل براجماتي أنه فى أى عملية كمّية تنتشر الموجات (وعلى ذلك يجب أن يتم إعدادها فى حالات كم حركية خالصة، فى التجارب)، بينما يتم الكشف عن الجسيمات (تمشيًا مع التفسير الاحتمالى لدالة الموجة، وفقًا لوجهة نظر بورن وفون نيومان). ويتبع التفسير الآخر وجهات نظر "بور" حول الظواهر الكمية، زاعما أن الموجات تتداخل وأنها مرتبطة بكمية حركة دقيقة، بينما تكون الجسيمات مستقلة وموضعية ولا تتداخل ومرتبطة بموضع دقيق.

يشترك تفسيرا ازدواجية الموجة – الجُسيم في اعتبار الموجات الكمية قوى علية واقعية، دون تحديدهما بالجواهر أو بالأشياء الفيزيائية بالمعنى الكلاسيكى أو حاملات موضعية للخصائص الفيزيائية. ولكن تجارب بصريات الكم تُظهر أن كلا الرؤيتين تتعامل فى النهاية مع العلاقة نفسها بين الجسيمات والموجات: فالتفسير الاحتمالى لدالة الموجة يتنبأ بالتردد النسبي للكشوف التجريبية للجُسيمات. وعلى ذلك، فازدواجية الموجة – الجُسيم وثيقة الصلة بالفجوة بين الاحتمالات النظرية والتكرارات النسبية التجريبية. إنها ازدواجية للاحتمالات (التى عادة ما يتم حسابها من حالات كمية الحركة)

مكتبة الفكر الجديد

والتكرارات التجريبية للحدث (التي يتم حسابها من مُخرجات قياسات الموضع).

ما الذى يعنيه هذا، علمًا بأنه لا يوجد تفسير فيزيائى مقبول لدوال الموجة النسبوية (أو صيغ المجال) فيما وراء التفسير الاحتمالى المُعتاد؟ على الرغم من أن تفسير "بورن – فون نيومان" إجرائي أكثر منه مرجعى، فدالة الموجة يجب أن يكون لها مضمون مرجعى. وفي الواقع، فإن تجارب تحديد الاتجاه بالممحاة الكمية التى نوقشت فى الفقرة (٧-٥) تتناول معلومات بالمعنى الشيئي. إنها تبين أنه يكفى أن نخزّن معلومات المسار من أجل تدمير نموذج التداخل. فليس من الضرورى أن نخزنها على جهاز كمبيوتر[1]. من هنا، فالمعلومات المخزونة تتمتع بموضوعية مُعينة، حتى إن لم تكن الموضوعية الكاملة للشيء الفيزيائي.

ولكن بأي معنى تكون معلومات المسار المخزنة موضوعية، علمًا بأنها يمكن أن تُمحَى بعد ذلك بإضافة جهاز تجريبي إضافى؟ وهنا يجب التأكيد مُجددًا على أن مُصطلح "معلومات المسار" مضلل مثلما هو مُصطلح "تجارب تحديد الاتجاه". فلا يجب أخذ أى من التعبيرين حرفيًّا. ففى كل مراحل تجربة من هذا القبيل، يتم إعداد الوابل الذرى كموجة؛ لذا، فالزعم الموضوعىّ الحاسم هو: أن نتائج الإعداد، فى فيزياء الكم، تتمتع بالموضوعية التي تتمتع بها مُخرجات القياس.

---

(١) تم التنبؤ بذلك في: Scully et at. 1991 (انظر مناقشتي للبحث في الفقرة ٧-٤-١) كما تم اختبار ذلك من قبل دور وآخرين (انظر: Durr and Rempe 2000a, 55 ومناقشتي في الفقرة ٧-٥).

مكتبة الفكر الجديد

إن الفرق بين إعداد الحالات الكمية والكشف عنها عنوان مهمل في النقاش الفلسفي. إن التمييز الأساسى بين الإعداد والكشف هو نوع الحالة الكمية التى يتم الحصول عليها. فالإعداد عادة ما ينتُج عنه موجة غير موضعية، بينما يؤدى الكشف إلى حالة جُسيم مُحدد الموضع تقريبيًّا. ومن الناحية الإجرائية، وعلى نقيض القياس، يعنى الإعداد ألا نقرأ المعلومة التي تحتوي عليها دالة الموجة[١]. تُشير تجارب تحديد الاتجاه التي أُجريت مؤخرًا إلى أن تخزين المعلومات (التي قد تُقرأ فيما بعد أو لا تُقرأ) أمر كاف لتحديد الاختلاف بين القياس والإعداد. تحتاج هذه النقطة إلى المزيد من التحليل المفاهيمي، إلا أن بحثها يتجاوز نطاق الكتاب الحالي.

تكمن الواقعية الوحيدة لدالة الموجة، من وجهة نظر تجريبية، في الاحتمالات الشرطية؛ إذ تظل إجراءات الإعداد الناجحة والتنبؤات التي تنتج عنها مُعجزة. فما من تجريبي بوسعه تفسير لماذا يكون وابل جسيمات محدد الطاقة، مفيدًا فى تجربة تشتت. وهنا يجب توظيف معيار هاكينج للواقعية، والذي يجب أن توجد وفقًا له القوى العلية غير القابلة للملاحظة إذا ما كان مُمكنًا استخدامها كأداة منتظمة في تجربة ناجحة[٢].

وفي الواقع، فقد أشار المثال الذي قدمه هاكينج إلى وابل من قاذف الإلكترونات[٣]. وما أهمله "هاكنج" فقط هو أن الوابل الذى يتم وصفه بموجة كمية ليس واقعيًّا كالمطرقة التى تستخدم لدق المسمار فى الحائط، لأنه لا

---

(١) انظر الملاحظات الموضحة في: Peres 1993, 12، ومناقشتي في الفقرة (٧-٣).

(٢) انظر: Hacking 1983, 22-25، والفقرة (٢-٤).

(3) Hacking 1983, 266-273.

مكتبة الفكر الجديد

يُعتبر شيئًا بالمعنى الكلاسيكى. ومن وجهة نظر ميتافيزيقية تقليدية، فواقعية دالة الموجة فيما وراء الاحتمالات، تبقى لغزًا. فنظرة نقدية للواقعية الكمية يجب أن تجد طريقًا وسطًا بين التجريبية والواقعية الميتافيزيقية.

٨-٦ واقعية ما دون الذرة: رؤية نقدية

من وجهة نظر كانطية، نجد أن خيارات الواقعية الميتافيزيقية هنا، والتجريبية والأداتية هناك، والسجالات الراهنة حولهما بقايا للصراع قبل-النقدي بين العقلانية والتجريبية في القرن الثامن عشر. هل ثمة مخرج عبر التفسير النقدي لواقعية ما دون الذرة؟ بالنسبة إلى مثل هذا التفسير، يجب إعادة النظر في السمات الكانطية التالية للرؤية النقدية للواقعية الفيزيائية[١]:

١- الواقعية الفيزيائية تجريبية، وليست ميتافيزيقية. بمعنى أن موضوع المعرفة الفيزيائية هو واقعية تجريبية بالمعنى الكانطي وليست عالمًا من الأشياء فى حد ذاتها.

٢- تُحدد أدواتنا الإدراكية بنية الواقعية الفيزيائية. وإليهم تنتمى مفاهيم ومبادئ:

١-المقادير الشاملة والكثيفة،

٢-الجوهر،

٣-العلية.

---

(١) لأسباب واضحة يتم هنا تجاهل جُل نظرية كانط في المعرفة.

مكتبة الفكر الجديد

ينبغي هنا ملاحظة أن مقولة كانط للجوهر ليست متطابقة مع المفاهيم الميتافيزيقية التقليدية للجواهر باعتبارها أشياء في حد ذاتها (أي كيانات مستقلة أو أشياء في حد ذاتها تحمل الكيفيات الأولية). إنها أكثر اعتدالاً. فالجوهر عند كانط هو فحسب مفهومنا القبلي لكيان يتمتع بخواص مستقرة وقابلة لإعادة التعريف. ووفقًا لمبادئ كانط الميتافيزيقية للعلم الطبيعي، فإن جوهر الميكانيكا الكلاسيكية هو مقدار كمية الحركة، التي يتم حفظها. ويخضع جوهر الفيزياء إلى قانون الحفظ[١]. وبالمثل تكون العلية بالنسبة إليه مفهومنا القبلي للرابطة الضرورية بين الأحداث المتعاقبة التي تساعد في تأسيس ترتيب زمني موضوعي[٢].

٣- لا يُمكن معرفة الواقعية الفيزيائية بشكل كامل. إن مفاهيم الجواهر النهائية والعلل هي أفكار تنظيمية فحسب، ينشأ عنها المبادئ المنهجية لتحليل المادة إلى أجزاء مكونة أصغر فأصغر والبحث عن القوى الأساسية للفيزياء.

٤- الواقعية الفيزيائية علاقاتية بشكل شامل[٣]. فليس ثمة جواهر في حد ذاتها، ثمة فقط موضوعات للمعرفة الفيزيائية ترتبط بغيرها من موضوعات المعرفة الفيزيائية. ومن وجهة نظر كانط، فإن هذه هي

---

(١) انظر: Kant 1786, 537-542, and von Weizsiicker 1971, 383-404.

(٢) انظر: Kant 1781/87, A 189-211/B 232-256.

(٣) انظر: Kant 1781/87, A 265/B 321: "إن التحديدات الداخلية للظاهرة المادية في الفراغ [...] لا تعدو أكثر من كونها علاقات، وهي في حد ذاتها مجموع كلي للعلاقات فحسب".

مكتبة الفكر الجديد

المُحصلة الأنطولوجية لرفض الأشياء في ذاتها ككيانات مستقلة معرفيًّا.

ماذا يتبقى من هذه الموضوعات الكانطية وكيف تُساعد في تطوير نظرة نقدية لواقعية ما دون الذرة؟ ثمة حالة من الشد والجذب فيما يتعلق بالنقطتين (١) و(٢).

وفقًا للنقطة (١)، تكون الواقعية الفيزيائية مُعطاة تجريبيًّا؛ ووفقًا للنقطة (٢) فإنها تعتمد على بناءاتنا. يبدو الزعم الأول داعمًا للتجريبية، فيما يدعم الزعم الثاني البنائية. إلا أنهما يكملان بعضهما بعضًا في الرؤية الكانطية. فبحسب كانط، تنتمي البناءات الأساسية لفهمنا إلى الواقعية التجريبية. فقد ظن أن هذه البناءات (مفاهيم الجوهر والعلية على وجه الخصوص) قبلية، وليست مطروحة للمراجعة، وتُعبر عن بنية الظواهر.

تُظهر الفيزياء الكمية أن واقعية ما دون الذرة لها بنية مختلفة. فالنتائج التجريبية لفيزياء الذرة، والجُسيمات والفيزياء النووية تضع قيودًا على استخدام مفاهيم الجوهر والعلية وعلى التحليل الرياضي والتجريبي للظواهر. اعتقد نيلز بور أن هذه القيود تمت الإشارة إليها من خلال ثابت بلانك كأجراء من الحد الأدنى[1]. وقد قمت في هذا الكتاب ببحث الطريقة التي ينتُج بها عن التحليل الرياضي والتجريبي للظواهر في فيزياء الجُسيمات الكشف عن المزيد والمزيد من الجُسيمات مثل المُكونات الميكروسكوبية للمادة والعلل المُفترضة للأحداث الموضعية في كشافات الجُسيمات، على حين تنهار تدريجيًّا المفاهيم الميريولوجية والعلية للجُسيم، وتخفق كلية على التوالي.

---

(١) انظر: Bohr 1928, 580، والمُلاحظة ٩٠ في الفصل الأول.

مكتبة الفكر الجديد

بالإمكان قياس البنية الديناميكية للذرة في تجارب التشتت، وتحليلها بالمفاهيم شبه الكلاسيكية وصولاً إلى مُعاملات الشكل للبروتون والنيوترون (الفصل الرابع)، إلا أن الأجزاء المُكونة لتلك الأخيرة، أعني الكواركات، لا يُمكن فصلها، مع إضافة مُكونات شبيهة بالحقول إلى تجارب تشتت الطاقة المُتزايدة، أعني أزواج الكوارك-مضاد الكوارك والجلونات فقرة (٦-٥). ويُظهر الوصف الكمي لفقد الطاقة عبر مسارات الجُسيمات كيف يكون المفهوم العلي للجُسيم مآله الفشل. فعلة مسار الجُسيم ليست قوة علية منعزلة، بل عملية كمية غير موضعية الفقرة (٥-٣). وفي النهاية تُظهر التجارب التي أُجريت مؤخرًا في بصريات الكم أنه لا المفهوم التقليدي للجوهر ولا المفهوم الواضع للعلية ينطبق على الظواهر الكمية الحقيقية دون تناظر كلاسيكي الفقرات (من ٧-٣ إلى ٧-٦). على الرغم من ذلك، فإن العديد من الجوانب الحاسمة من الموضوعات الكانطية الأربعة المذكورة آنفًا تظل:

أولاً: تتكون الواقعية دون الذرية من بُنى كمية تجريبية.

ثانيًا: تتحدد بنية الواقعية دون الذرية من خلال الأدوات المعرفية التالية:

(أ) مقياس الكميات الفيزيائية المشتقة من المقاييس الكلاسيكية للطول والزمن والكتلة.

(ب) قوانين الحفظ للكميات الديناميكية مثل الكتلة – الطاقة، والشحنة، واللف.

(ج) فرض عدم موضعية القوى العلية التي تُوصف من خلال حالات الكم، ويُمكن إعدادها بشكل جيد التعريف، واستخدامها في التجارب، كما تؤدي إلى تلازمات كمية غير موضعية.

مكتبة الفكر الجديد

وهنا تنطبق الملاحظات السابقة بشأن الجوهر والعلية. يفترض المفهوم الإجرائي للجُسيم أن الجُسيمات تجميعات من الكميات المحفوظة. ويتعين فهم هذه التجميعات للخصائص الديناميكية في إطار مفهوم كانط للجوهر، بوصفه حزمًا من الخصائص المُستقرة القابلة لإعادة التعريف (انظر الفقرتين ٦-٣، و٦-٦). إن الافتراض (الذاتي) بأن ثمة قوة علية متفردة خلف الكُشوفات المتكررة للجُسيمات هو اللاصق الميتافيزيقي (الوحيد) الذي يُبقي مجموعة الخصائص معًا.

ثالثًا: إن واقعية ما دون الذرة بمنأى عن الفهم الكامل. فما زالت المبادئ المنهجية لتحليل المادة إلى مُكوناتها الأصغر فالأصغر والبحث عن القوى الأساسية للفيزياء تُوظف في محاولات لا تنتهي من أجل:

(أ) إيجاد بُنى جديدة والكشف عن أنواع جديدة من الجُسيمات، في تجارب التشتت ذات الطاقة الأعلى والأعلى.

(ب) تحليل مشكلة القياس الكمي بدلالة المتغيرات الخفية، والعوالم المتعددة، وغيرها من المُقاربات، ويُعد تفكيك الترابط حتى الآن أكثر الأمور بشارة.

(ج) التوصل إلى جانبية كمية تتخلص من المشاكل المفاهيمية الحالية لتوحيد نظرية الكم والنسبية العامة.

رابعًا: إن واقعية ما دون الذرة علاقاتية بشكل شامل؛ أي أنها:

(أ) مُعتمدة على السياق. فيعتمد نوع الظواهر الكمية التي تتم ملاحظتها (الكشوف الجُسيمية، أنماط التداخل، أو كلاهما) على الترتيب

مكتبة الفكر الجديد

التجريبي. علاوة على ذلك، تحدث كل الظواهر الكمية في عالم كلاسيكي.

(ب) تُعرَّف فحسب بالنسبة إلى المفاهيم الكلاسيكية. فكل ظواهر الكم تُوصف في واقع الأمر من خلال الطول، والزمن، والكتلة. إضافة إلى ذلك تُفسر تجارب التشتت لفيزياء الطاقة العالية بالنسبة إلى النماذج الكلاسيكية لمراكز التشتت، وتوزيعات الشحنة، ...إلخ.

(ج) مُعتمدة على الطاقة. ففي طاقات التشتت المتزايدة، يتزايد محتوى الكوارك ومضاد الكوارك، والجلون من النويدات. (انظر الفقرة ٨-٣).

عند أخذ النقاط من أولاً حتى رابعًا في الاعتبار معًا، فإنها تُقدم نظرة نقدية لواقعية ما دون الذرة شاغلة مساحة وسطًا بين التجريبية والواقعية الميتافيزيقية. ويرتبط الموقف الناتج بشكل وثيق من نظرة بور التتامية لميكانيكا الكم. دعونا نرى أولاً بأي معنى يكون هذا الموقف أكثر قوة من التجريبية وأخف وطأة من الواقعية الميتافيزيقية، ثم نوضح علاقتها بآراء بور.

تنتمي كل الظواهر التجريبية التي تمت مناقشتها في الباب الثالث إلى البُنى الكمية (في البند أولاً) لواقعية ما دون الذرة. وعلى وجه الخصوص فإن قياسات الموضع، ومسارات الجُسيمات، وأحداث التشتت، وحالات الرنين فى فيزياء الجسيمات؛ بُنى كمية تجريبية. وتنتمي إليها ظواهر بصريات الكم التي تمت مناقشتها في الفصل السابع. إن بُنى الكم التجريبية هنا هي توزيعات للحدث يتم الحصول عليها عبر تجربة الشق المزدوج بفوتونات أو

مكتبة الفكر الجديد

إلكترونات فردية، وتجربة "فليجور– مندل"، وتجارب الفوتونات الفردية ذات المستقطبات، وتجارب "تحديد الاتجاه" باستخدام الممحاة الكمّيـة أو دونهـا. وحتى التجريبي، مثل فان فراسن، سيتفق مع الزعم بأن كل هـذه الظـواهر تنتمي إلى الواقعية التجريبية. وتكـون الافتراضـات الكانطيـة (الثـاني)، و(الرابع) أكثر قوة. وعلى وجه الخصوص تكون الفقرة الثالثة من الافتراض الثاني للقوى العلية غير الموضعية وراء الظواهر الكمية لفيزياء الجُـسيمات وبصريات الكم أكثر قوة من التجريبية الصارمة.

إلا أن الموقف الناتج يكون أقل حدة من الواقعية الميتافيزيقية؛ حيث إن يتم أخذ السمات البنائية للافتراض الثاني في الاعتبار، على خُطـى نظريـة كانط في الطبيعة. إن مقاييس الكميات الفيزيائية، وقوانين الحفظ في الفيزياء، والافتراضات العلية التي تدعم إجراءات الإعداد والتأويل الفيزيائي للتجارب الكمية ينتمي إلى الممارسة الفيزيائية، وليس إلى الواقعية الفيزيائية المـستقلة وحدها. أما النقطة الكانطية الأصيلة فهي أن مثل هذه الواقعية المُستقلة ليس لها وجود بالنسبة إلينا. فمن المُتصور أن الواقعية الفيزيائيـة تعتمـد علـى الأدوات الإدراكية في الفيزياء. وعلى وجه الخصوص، فإن مقاييس الكميات الفيزيائية تُمثل شروطًا ضرورية لإمكان الخبرة الفيزيائية. إنها تـدعم كـل القياسات في الفيزياء. كما تنتمي إليها المفاهيم الميتافيزيقية للجوهر والعلية. فهي، وفقًا لكانط، شروط ضرورية لإمكان أي خبرة. وفي واقع الأمر، تقوم الممارسة الفيزيائية باستخدامها ضمنيًّا. وفـي الـنهج البراجمـاتي لإعـداد الموجات والكشف عن الجُسيمات، تقوم الموجات المُحتملة بوظيفة الجـواهر للقوى العلية، فيما تُمثل كشوف الجُسيمات الآثار الناتجة عنها. ودون مفاهيم

مكتبة الفكر الجديد

الكميات الديناميكية المحفوظة، ومجموعاتها القابلة لإعادة التعريف، والقوى العلية الكامنة خلف ظهورها مُجددًا، فلن تكون ثمة إمكانية لتحليل مُعطيات فيزياء الجُسيمات أو بصريات الكم. وفى هذه الحالة، يتمتع "اللاصق" الميتافيزيقي المُشار إليه آنفًا بمكانة ترانسندنتالية (متعالية).

ومع ذلك فإن هذه المكانة الترانسندنتالية لهذا اللاصق الميتافيزيقي تختلف جوهريًّا في المجال الكلاسيكي عنها في المجال الكمي. ففى المجال الكلاسيكى، تكون مبادئ الجوهر والعلية مكوّنة لمعرفة الأشياء الفيزيائية مع تحديد كامل للخصائص. فيما تتعارض أي نظرية كمية مع هذا النوع من المعرفة الفيزيائية. إذ تحول البنية الكمية للخصائص الزمكانية والديناميكية لجسيمات ما دون الذرة دون وجود أشياء فيزيائية ذات خصائص كاملة التحديد. إن مبادئ الجوهر والعلية لا يُمكن أن تكون جزءًا من معرفة الأشياء الكمية.

تقترح المقاربة الكانطية لنظرية الكم التي ظهرت مؤخرًا على يد "برينجه" تأويلها من خلال أفكار العقل والمبادئ المُنظمة عند كانط؛ خاصة من خلال الوحدة النسقية للظواهر التجريبية للطبيعة التي قام كانط بتحليلها في نقد ملكة الحُكم[1]. وعلى التوازى مع تفسير "كانط" للكائنات، يوضح "برينجه" ما يعنيه قول إن الممارسة الفيزيائية تتناول الأشياء الكمية كما لو كانت قوى علية واقعية: إنها تعنى توحيد الظواهر الكمية التتامية التى تتولد من المصدر نفسه، ولكن عبر ترتيبات تجريبية مختلفة. إلا أن وحدة النطاق

---

(1) Pringe 2006.

تم هنا بحث العلاقات النسقية لهذه المعالجة لرؤية بور التتامية للظاهرة الكمية بالتفصيل.

مكتبة الفكر الجديد

الكمّى محدودة. وعلى نحو ما عرضنا آنفًا في الفصل السادس والفقرة (٦-٧)، فليس ثمة مفهوم موحد للجُسيم ولا تفسير موحد للعلية. والاستخدام التنظيمي لمبادئ الجوهر والعلية فى الممارسة الفيزيائية يأتى مع تعدد المفاهيم النظرية للجسيم ومعانى العلية.

والمشكلة الفلسفية الأكثر إثارة بشأن واقعية ما دون الذرة هي كيف يُمكن فهم ازدواجية الموجة – الجسيم كوريث شرعى لمفهوم الجسيم الكلاسيكى، علمًا بأنه لا الموجات ولا الجُسيمات، فى الفهم الكلاسيكى، يدعُم الظواهر شبه الموجية وشبه الجسيمية فى فيزياء الكم. فالموجات والمجالات الكمية ليست مجرد كيانات زائفة؛ إذ يقوم الفيزيائيون بإعدادها كما لو كانت أشياء فيزيائية واقعية، على الرغم من أنها ليست كذلك. إنها تتمتع بصلة علية، كما تُظهر تجارب بصريات الكم التي نوقشت في الفصل السابع على نحو مدهش. إنها تحدد الاحتمالات الشرطية لكشوف الجُسيمات. فالاحتمالات تعدو مجرد كونها تكرارات نسبية تجريبية. وتتبع أحداث الكم الاحتمالات المحسوبة من دالة الموجة Ψ وهي حين تسلك على هذا النحو، فإنها تحدث كما لو كانت محكومة بيد خفية أو تتبع "قانونًا بلا قانون"[1]. ويقترب من هذا الموقف النقدي المُقترح هنا. فهو يأخذ فى الاعتبار فكرة وجود قوى علية داعمة لتكون مبدأ منظمًا يوحِّد الأحداث الكمية للمجموع الاحتمالى.

أما النقطة الكانطية الرابعة فلم يسبق أن تمّت مناقشتها. إنه الزعم بأن الواقعية الفيزيائية علاقاتية بشكل شامل. وبالنسبة إلى مجال الكم فإن هذا مما يجب تأهيله أيضًا مؤديًا إلى سيمانطيقا علاقاتية وأنطولوجيا فيزياء الكم التي

---

(1) Wheeler 1979-1981.

مكتبة الفكر الجديد

تقترب من وجهات نظر "بور". (أ) يُعبر الاعتماد على السياق في ظواهر الكم عن استبصارين لفلسفة بور التتامية. أولاً، ظهور ظواهر الكم التتامية من قبيل مسارات الجُسيم وأنماط التداخل يعتمد على الترتيب التجريبي. ثانيًا، تحدث كل الظواهر الكمية في جهاز أو بيئة تجريبية ماكروسكوبية. فما من أشياء كمية في حد ذاتها يُمكن أن تكون معزولة عن جهاز القياس. (ب) إن لغة الفيزياء الكلاسيكية، وفقًا لبور، أمر لا غنى عنه. وترتكز رؤية بور التتامية على مبدأه للتناظر؛ حيث تناظر ظواهر الكم التتامية، من وجهة نظره، الظواهر الكلاسيكية الحصرية المتبادلة، ومن أجل تفسيرها يجب توظيف لغة الفيزياء الكلاسيكية. وعلى الرغم من أن هذه الرؤية لا يُمكنها مجاراة الظواهر الكمية الأصيلة دون التناظر الكلاسيكي، فإن أفكار بور الداعمة تبقى صالحة حتى يومنا هذا: فيتعين أن يتم التعبير عن كل نتائج القياسات من خلال المقاييس الكلاسيكية للطول، والزمن، والكتلة؛ ويُمكن تفسير تجارب التشتت التي تبحث البُنى دون الذرية الديناميكية فقط من خلال النماذج التي تناظر على نحو نهائي تشتت رذرفورد الكلاسيكي. (ج) إضافة إلى تلك الموضوعات التي تُنسب إلى بور، فإن اعتماد الطاقة energy dependence للبنية دون الذرية يجب أن يؤخذ في الاعتبار. فكلما كانت طاقة تجربة التشتت أعلى، كانت البنية محل النظر أصغر. ومع ذلك، فكلما كانت البُنى أصغر، صار من الأصعب تفكيكها وتمييز مكونات المادة (انظر الفصل الرابع والفقرة ٦-٥). ختامًا، فمكونات النويدات التى تظهر مع زيادة طاقة التشتت لا تُعد جسيمات فى عرف المفهوم الميريولوجي للجُسيم. وطبقًا لنموذج كوارك بارتون، فمحتويات الكوارك ومضاده والجلون للنويد هو شبيه

مكتبة الفكر الجديد

بالمجال. ولكن المجالات الكمية أيضًا يتم وصفها وقياسها كما لو كانت أشياء فيزيائية واقعية، وإن لم تكن كذلك.

اقترحت رؤية بور التتامية لميكانيكا الكم بالفعل منذ زمن طريقًا لتجنب معضلة الاختيار بين التجريبية أو الواقعية الميتافيزيقية. وبسبب الصعوبات فى الفهم، لم يتيسر استنباط تفسير فلسفي لنظرية الكم من كتاباته. واليوم يخطئ معظم الفيزيائيين فى الخلط بين تفسير كوبنهاجن(*) لميكانيكا الكم والتفسير الاحتمالي لبورن ونيومان؛ على حين يعتبر معظم الفلاسفة آراء بور مهجورة وليس لها من قيمة إلى المغزى التاريخي. علاوة على ذلك ينبغي الأخذ في الاعتبار أنه قد جرت مياه كثيرة في نهر فيزياء الكم منذ أيام بور؛ إذ ثمة الكثير من الظواهر الكمية غير الموضعية التي لا تتلاءم مع رؤية بور الذاهبة إلى أن مجال الكم مُستنزف exhausted من قبل ظواهر الكم التتامية مع بعض الظواهر الكلاسيكية المُناظرة خلفها. ومع ذلك عرض الفصلان الرابع والخامس تفصيلاً إلى أي مدى يصمد الزعم المركزي في رؤية بور التتامية حتى يومنا هذا. لقد بُنيت نظرية القياس لفيزياء الجُسميات على القوانين الكلاسيكية، على الرغم من أنها تحتوي أيضًا على تصويبات كمية تنطبق على المستوى الاحتمالي، والعديد من الكميات الجديدة من قبيل اللف والندّية والنكهة واللون. ومع ذلك فهذه الأخيرة تم تعريفها أيضًا من

(*) تفسير كوبنهاجن **Copenhagen interpretation** هو مصطلح شائع في ميكانيكا الكم يذهب إلى أن ميكانيكا الكم لا تُسفر عن وصف واقع موضوعي، وإنما تتعامل فحسب مع احتمالات رصد أو قياس الجوانب المختلفة لكمات الطاقة، وهي كيانات لا تتفق مع المفاهيم الكلاسيكية للجُسيمات والموجات على حد سواء. (المترجمان)

مكتبة الفكر الجديد

خلال ما يبني جسورًا مع الفيزياء الكلاسيكية؛ أعني التماثلات الرياضية، وقوانين الحفظ، والأبعاد الفيزيائية للكميات الكلاسيكية (مثل كمية الحركة الزاوية). وفي النهاية يتم التعبير عن كل نتائج القياس من خلال الطول والزمن والكتلة والطاقة. وتمتد مقاييس هذه الكميات حتى النطاق دون ذرى بل نزولاً إلى مقياس "بلانك". وتفترض هذه المقاييس، أن لغة الفيزياء الكلاسيكية لا غنى عنها لفيزياء الكم بأسرها.

وفي كل تلك المناحي، تكون واقعية ما دون الذرة علاقاتية؛ إذ لا تدرس فيزياء الكم سوى ظواهر في بيئة كلاسيكية. وتُظهر الأنواع المختلفة من التلازمات الكمية غير الموضعية أن ظواهر الكم قد تكون كبيرة للغاية، أي ممتدة على مسافات شبيهة بالفراغات. فيما لا تبزغ الكشوفات الموضعية للجُسيمات التي تُشير إلى بُنى دون ذرية إلا كأحداث موضوعية في العالم الكلاسيكي.

إن التفسير العلاقاتي لواقعية ما دون الذرة هنا نتاج لمقاربة "من أعلى إلى أسفل". فيما يظل التفسير العكسي للعالم الماكروسكوبي الكلاسيكي "من أسفل إلى أعلى" من خلال الإلكترونات، وكمات الضوء، والكواركات، وغيرها من الجُسيمات؛ وعدًا أجوف. فأي محاولة تهدف إلى تأسيس أنطولوجيا جُسيم أو مجال ينشأ عنها تفسير غير علاقاتي لواقعية دون ذرية مكونة من جواهر مستقلة وقوى علية. إلا أن أي مقاربة معروفة من هذا القبيل تتعارض أيضًا مع مبادئ نظرية الكم النسبوية أو مع افتراض أن القياسات الكمية ينتج عنها أحداث فعلية في العالم الكلاسيكي. وبقدر ما ستظل مشكلة القياس الكمي قائمة، فستظل واقعية الكم المستقلة بمنأى عن أيادينا.

مكتبة الفكر الجديد

فى نهاية المطاف، ووفق ما بلغه علمنا، ليست واقعية ما دون الـذرة عالمًا ميكروسكوبيًّا في حد ذاتها، ولكنها جزءًا من واقعية تجريبيـة توجـد بالنسبة إلى عالم ماكروسكوبى، فى إطار ترتيبات تجريبية معينة، وسـياقات فيزيائية مُعرفة جيدًا وخارج المعمل. تتم دراسة هذه الواقعية الفرعية بأجهزة قياس ماكروسكوبية. فيتم الاستدلال على وجود الإلكترونات، والكواركـات، والفوتونات من تجارب شديدة التعقيد في فيزياء الجُسيمات وبصريات الكـم. ومن وجه نظر واقعية، ثمة علل كافية للاعتقاد في أن ثمة كيانات من قبيـل الإلكترونات، والكواركات، والفوتونات في معامل الفيزياء وفي العـالم مـن خلفها. إلا أنه يتعين على أي واقعية علمية بشأن الجُسيمات دون الذريـة أن تأخذ في الاعتبار أنها لا تسلك واقعيًّا كجُسيمات: ولا تدعم الفيزياء الراهنـة سوى الاعتقاد في وجود عمليات كمية في إطار العالم الكلاسيكي.

مكتبة الفكر الجديد

الملاحق

ملحق (أ)

نظرية القياس

لقد فُصلت نظرية القياس من خلال أعمال هيلمهولتس وكامبل؛ على حين قام ناجيل وكارناب بوضعها في الإطار التجريبي المنطقي. وأعادت مدرسة سوبس صياغتها في صورة مصطلحات نموذجية-نظرية، وطورتها بوصفها نظرية بديهية مُجردة. واليوم صارت نظرية القياس المُجردة جزءًا من الرياضيات التطبيقية[1].

أ-١ البنى العلاقاتية التجريبية

تتعامل نظرية القياس الصوري مع عملية نقل البُنى العلاقاتية التي تُناظر خصائص الموضوعات أو العمليات التجريبية إلى مُستوى البديهيات axiomatization. وفقًا لكارناب وسوبس ينشأ القياس عن ترتيب الموضوعات أو العمليات التجريبية بطريقة مُعرفة جيدًا عبر إجراءات تجريبية. وينشأ عن الترتيب بنية علاقاتية تجريبية؛ أي بنية علاقاتية تكون أنموذجًا تقريبيًّا للخصائص التجريبية لتلك الكيانات. وتتأسس البنية البديهية

(1) Helmholtz 1887, Compbell, Nagel 1931, Hempel 1952, and Carnap 1966; Krantz 1971; Narens 1985.

مكتبة الفكر الجديد

للقياس عبر ثلاث خطوات: التعريف، ثم النقل إلى مستوى البديهيات، ثم التعبير العددي لبنية علاقاتية تجريبية $\langle \varepsilon,o,\preceq \rangle$:

١. فالنسبة إلى القسم ε للأشياء التجريبية أو العمليات تعرف العمليتان التجريبيتان على النحو التالي:

(أ) التسلسل (الارتباط) o (مثال، تسلسل قضيبين على طول خط مستقيم).

(ب) المقارنة $\preceq$ (مثال، وضع قضيبين متوازيين لبعضهما أو ملاحظة من يكون أطول.

٢. اختيار مجموعة من البديهيات، وتثبيت بناء جبري مع تركيب علاقة تعرف الأقسام المكافئة علىε:

$$\forall a,b \in \varepsilon: a \sim b \leftrightarrow a \preceq b \prec \wedge b \preceq \quad (A.1)$$

٣. أمثلة فروض النظرية توجد المذهب الجوهري المماثل (أيومرى من الوحيد المفرد حتى التشابه في التركيب مع اختلاف الخواص)

$$F: \quad \langle \varepsilon,o,\preceq \rangle \rightarrow (R,+,<), \quad (A.2)$$

من البناء $\langle \varepsilon,o,\preceq \rangle$ إلى الأعداد الحقيقية R مع استخداماتها في البناء الحسابي، خاصة في:

١) يتم اختيار الوحدة أي أن العنصر $e \in \varepsilon$ الذي ينظم حتى واحد ١ (مثال المتر المعياري).

٢) وحتى العناصر الأخرى للبناء التجريبي فإن الأعداد $r \in R$ المخصصة بأن تعبر عن القيمة بمضاعفات الوحدة.

مكتبة الفكر الجديد

البديهيات (٢) تثبت البناء الجبري المقابل لبناء العلاقة التجريبي (١) وحيث إن القياس يكون مقارنة عددية لأى عنصر للبناء التجريبي لوحدة ما فإن العلاقة يكون جيدًا فقط للقياس إذا كانت تمثل بواسطة الأعداد بغير القياس، وقد تضمنت بواسطة النظرية الممثلة (٣)، ويكون للمذهب الجوهري المماثل خواص صورية للقياس. خاصة أنها إضافة وأنها تعين وحيدة مفردة حتى التحولات الأسيومرية استنتاجها من فرض بناء العلاقة التجريبية$\varepsilon <,o,\leq>$ ، ولا بد أن تكون بديهيات القياس متوافقة مع بناء الأعداد الحقيقية.

تتعامل نظرية القياس المجردة مع المشاكل الصورية لإعطاء بديهيات للبُنى العلاقاتية العلاقات وتحويلها إلى الأعداد الحقيقية. ومع ذلك، فإنها تصف القياسات المثالية؛ أي تخطيط البُنى العلاقاتية الدقيقة إلى الأعداد الحقيقية. ولمزيد من التطبيقات الواقعية، تصبح النظرية معقدة. وقد تؤخذ في الاعتبار أخطاء القياس (أي تزغيب أو تجعيد البناء التجريبي) بإضافة الافتراضات الاحتمالية للبديهيات[1].

أ-٢ الكميات الفيزيائية

الكمية الفيزيائية هي دالة تقوم بتخصيص أعداد حقيقية لموضوعات أو عمليات تجريبية وخصائصها الفيزيائية. طبقًا لنظرية القياس البديهية تكون هذه الموضوعات أو العمليات هي عناصر البناء التجريبي$\varepsilon <,o,\leq>$، وتُمثل الدالة تماثلاً شكليًا f بالمعنى الذي قدمته مُبرهنة الأمثلة المشار إليها

---

(1) kyburg 1984, 183.

مكتبة الفكر الجديد

آنفًا. وتعرف الفئات المكافئة لـ ε,عن طريق علاقة الترتيب ≾هي فئات الموضوعات أو العمليات التي لها الخصائص الفيزيائية نفسها، ولتكن فئات جميع الأجسام التي لها الكتلة نفسها، فإذا اعتبرنا ε,أنها قسم من جميع (∈,oε) لتجعل f تخص العدد الحقيقي:r

$$\varepsilon r = \{o|o \in \varepsilon \wedge f(o) = r\} \qquad A.3$$

حينئذ ترسم أو تخطط f بوضوح الفئات المكافئة εr للأعداد الحقيقية r، وبالمقابل تكون الكمية الفيزيائية مجموعة الأزواج المرتبة (ε, r)، وحيث إن مجال الدالة يتكون من فئات لموجودات لها الخواص نفسها فإن الكميات الفيزيائية هي تصورات الرتبة الثانية، ويكون مقياس الكمية الفيزيائية هو مدى الدالة الجوهرية المماثلة f، وعمومًا فإن مدى الكمية الفيزيائية يكون من ٥ إلى ∞.

أ-٣ البديهية الأرشميدسية

إن امتداد قياس الطول والزمن والكتلة من حجم الكون نزولا إلى مقياس بلانك يبنى على البديهية الأرشميدسية[١] وتخص هذه البديهية أو المسلحة نظرية الاعداد الحقيقية، وهى تضمن أن وحدة القياس قد يتم اختيارها اعتباطيًا.

$$\forall a,b \in R \text{ with } a<b, \exists\, n \in N \text{ such that } na>b \qquad (A.4)$$

---

(١) انظر: Hilbet 1918,149.

مكتبة الفكر الجديد

طبقًا للبديهية الأرشميدية وللنظرية الممثلة فإن أي وحدة $a \varepsilon \in$ قد تغير في قياس قيمة أي عنصر $b \varepsilon \in$، ومن ثم قد يختار الوحدة اعتباطًا: فقد يعبر عن حجم الكون بدلالة السنين الضوئية، سم، أو طول بلانك، فدون البديهية الأرشميدية لا تنتج طويلاً أن جميع عناصر العلاقة التركيبية تكون ممثلة بالأعداد الحقيقة[1] مع اتباع أنه توجد عناصر غير ملائمة رياضيًا للعلاقة التركيبية.

لقد أدخل كون Kuhn فكرته عن اللا مقياسية كمثيل للمفهوم الرياضي للا مقياسية[2]، فعن طريق البديهية الأرشميدية لنظرية القياس كانت العلاقة بين المفهومين. ففي الفيزياء ضمنت البديهية الأرشميدسية أن مقاييس الكميات الفيزيائية قد تمتد إلى النسبوية كما في مجال الكم. زعم هيلبرت (١٩١٨,١٤٩) بأنه يمكن التحقق من صلاحية البديهية الأرشميدسية باختبارها تجريبيًا. إلا أن صلاحيتها التجريبية ليست أكثر (وليست أقل) من إمكانية تأسيس المقاييس وعمل القياسات في كل المجالات دون تناقض. ونظرًا إلى أن المسافات والأزمنة والكتل دون الذرية والأرضية والكونية تخضع لنظريات بينها لا مقياسية من وجهة نظر كون، وفقًا للنظرية البديهية للقياس. فإن البديهية الأرشميدية تدعم جسر المبادئ التي تصل نظريات اللا مقياسية بعضها ببعض. فإذا ما قامت بذلك، فإن الكميات المقاسة في المجالات دون الذرية والأرضية والسماوية لا توصف باللا مقياسية بالمعنى الكُوني، تبعًا للنظرية البديهية في القياس. إن امتداد المقاييس الفيزيائية إلى المجالات النسبوية والكمية وثيق الصلة بالاعتبارات البُعدية والمُبرهنة الثانية للتحليل البُعدي.

---

(1) Narens 1985, part II.
(2) Kuhn 1960, 1970.

مكتبة الفكر الجديد

أ-٤ ميتافيزيقا القياس

يكون للقياس ثلاثة جوانب من وجهة النظر التجريبية:

١. يكون لها أساس إجرائي ينتج عنه ترتيب تجريبي.
٢. تعتمد على بديهيات لتعيين الأمثلة العددية.
٣. تتضمن زعمًا مرجعيًّا بأن البديهيات وأمثلتها العددية تُعبر عن الأساس الإجرائي.

هذه المظاهر تقابل ببساطة الخطوات الثلاثة السابقة:

١- التعريف إجرائيًّا.

٢- الصياغة في صورة مسلمات.

٣- الأمثلة العددية.

لبنية تجريبية علاقاتية $\mathfrak{A} = \langle A, \succsim, \circ \rangle$. وفق نظرية القياس تكون متعادلة ميتافيزيقيا، وأنها مجرد نظرية رياضية حول بنية استعمال الطرق العددية في العلم التجريبي نفسه، إثمة افتراض مُسبق لهذه الرؤية في الفصول من ٢ إلى ٥. وقد يسهل إعادة تأسيس تجارب فيزياء الجسيمات بدلالة نظرية القياس. (١) اعتمدت على العمل التجريبي الناتج في التكوين والمعايرة للشعاع والعداد الجسيمي والفترة المأخوذة خلالها النتائج ومقارنة الخواص المشاهدة للمسارات الجسيمية المسجلة بواسطة العداد. (٢) إن التصميم والأداء وتحليل النتائج لمثل هذه التجارب يتأسس على القوانين النظرية التي تكون دوالها مثل بديهيات القياس. وتعتمد قوانين القياس هذه على النماذج الكلاسيكية والكمية التي تتماشى مع التجربة. (٣) تتأسس هذه النماذج على

مكتبة الفكر الجديد

مقاييس الكميات الفيزيائية وعلى افتراض أن مسارات الجسيمات الملاحظة ممثلة بالواحدة عن طريق أعداد ترمز بقيم فيزيائية للجسيمات].

ومع ذلك فقد بدأ الفلاسفة في الخلاف حول القياس، عندما بالغوا في توكيد الجوانب المنعزلة للقياس. أدى غض الطرف عن الجوانب المرجعية لمُبرهنات الأمثلة للنظرية إلى ظهور الإجرائية والكلية والاصطلاحية. فيما أدى غض الطرف عن الجوانب الإجرائية للقياس إلى الموقف الأفلاطوني. يؤكد العديد من فلاسفة العلم على الجوانب المتصلة بالأمثلة (أو المرجعية) للقياس. كما يميلون إلى تبني التجريبية أو الواقعية العلمية. وعلى هذا الدرب تبزغ الآراء الميتافيزيقية التالية:

١- أ ركزت الكلية، على الجوانب البديهية للقياس، ويعتمد أي قياس على نظرية الظواهر المقاسة. أكد سنيد (Sneed) ومن تبعوه على نظرية الكميات الديناميكية مثل الكتلة أو القوة[1]، ولكن الكميات الزمكانية للميكانيكا غير النسبوية أيضًا تعتمد على النظرية بشكل أساسي، وأظهرت نظريات الزمان- المكان النسبوية بديهيات واضحة للقياس. دائمًا ما يوضع قياس كمية ما في إطار الافتراضات حول قوانين الفيزياء وفقراتها المرتبطة بها وهلم جرًا. وهذا أخذ في الاعتبار في رسالة بحث دوهيم- كواين وعن طريق رؤية كون بأن المفاهيم الحاسمة للنظريات المنافسة تكون غير ملائمة حتى أحدثت تنبؤات عددية متساوية تقريبًا.

---

(1) Sneed 1971, Balzer 1987.

مكتبة الفكر الجديد

١-ب يتعلق المذهب الاصطلاحي برؤية الأمثلة المضادة للقياس وأنه ينتج من التركيز على الافتراضات الاعتباطية الضرورية لبناء أُسَّىْ قياس، وتختار دائمًا وحدة مقياس الكمية اعتباطيًّا إضافة إلى أن العديد من طرق القياس تعتمد على المفاهيم النظرية دون المحتوى العلمي، وتكون الأمثلة المطابقة هي: الافتراض الأساسي للقياس الاعتيادي للطول أن القضبان صلبة؛ أو اصطلاح أينشتين بشأن التعريف النسبوى للتزامن (Einstein 1905).

٢- تهتم الإجرائية بشكل حصري بالجوانب الإجرائية للقياس[1]. فاقترح بريدجمان رؤية متطرفة بأن تعرف كل طريقة قياس لكمية أخرى. يدافع أليس عن إجرائية أكثر تحررًا. فبالنسبة إليه كانت الكميات الفيزيائية عبارة عن مفاهيم عنقودية والمستنتجة من جميع طرق القياس التي تعطى نتائج الكميات نفسها تقريبًا ومع هذا فقد رفض أليس افتراضًا الخواص الفيزيائية الحقيقية التي تقابل مثل هذا المفاهيم العنقودية لأنه اعتبرها كلية [انظر الجزئية رقم (٥) فيما يلي].

٣- ركز المذهب التجريبي على البُنى التجريبية التي تقف خلف أي قياس، كما أكد على أنها مُحددات لبديهيات القياس. حتى أنه كان من الضرورى احتواء طريقة القياس، فيجب أن تكون البديهيات كافية ومن ثم يكون اختيارها أكثر ملاءمة عن موضوع الاصطلاح، كما أوصى مجال البديهيات والمذهب التجريبي بإخلال في علم الوجود وأنه لا يوجد ما يبرر تجريبًا الامتداد البديهي

(1) Bridgman 1927; Ellis 1968, 34-36.

مكتبة الفكر الجديد

لقياس مجال لا نهائي للأشياء الموجودة وقد ركز المذهب التجريبي على التكوين التجريبي الأساسي لأى قياس، وأكد أنها كانت اضطرابات لبديهيات القياس، ومع أن طريقة قياس كان من الضروري احتواؤها عناصر اعتباطية فيجب أن تكون البديهيات كافية ومن ثم يكون اختيارها أكثر ملاءمة عن موضوع الاصطلاح، كما أوصى مجال البديهيات والمذهب التجريبي بإخلال في علم الوجود وأنه لا يوجد ما يبرر تجريبًا الامتداد البديهي لقياس مجال لا نهائي للأشياء الموجودة وغير المشاهدة.

٤- متطلبات مذاهب الواقعية العلمية بأن الكميات الفيزيائية مثل الطول والكتلة أو الشحنة تعبر عن الخواص الحقيقية للأنواع الطبيعية؛ مثل الإلكترونيات ومن وجهة النظر الحقيقية فإن الكميات تكون أقسامًا من المقادير، وتأتى خواص المقادير في درجات وتلتصق هذه الخصائص بأنظمة فيزيائية وعمليات موجودة في الطبيعة فعليًا.

٥- تُعد الأفلاطونية النسخة الأكثر تشددًا للواقعية العلمية حول الخصائص الفيزيائية. يقوم أتباع الفلسفة الأفلاطونية بإسباغ المادية على الخصائص وما يُناظرها من مقادير[1]. وكانت علاقات كمياتها فى الترتيب الثاني، [وهذا كان سبب تفضيل إيليس للمذهب الإجرائي المعدل؛ انظر الجزئية (٢) فيما سبق] ودافع كيرج عن الرؤى التي تكون فيها المقادير الفيزيائية أهدافًا مجردة ولا يجب أن

---

(1) Armstrong 1989 a,b.

مكتبة الفكر الجديد

تقر الكميات كدوال من التركيب التجريبي إلى الأعداد الحقيقية ولكن تكون كدوال من التركيب إلى أقسام للمقادير[1].

تُفسر البنية الصورية للقياس بدقة هذا التنوع في الآراء الميتافيزيقية. وبالنظر إليها بترتيب معكوس، فإنها تناظر بشكل يزيد أو يقل المواقف التي رأيناها في السجال حول الواقعية العلمية (انظر الفقرة ١-٢). نشأت الآراء البنيوية عن الكلية والاصطلاحية. وتُعد الإجرائية نسخة من التجريبية الصارمة وتمثل رؤية تجريبية أكثر تحررًا للكميات الفيزيائية ينشأ عنها تجريبية مُعتدلة. على حين تأتي الواقعية العلمية بشأن الخصائص الفيزيائية بأشكال أكثر ضعفًا أو قوة. يعتبر التفسير النقدي للكميات الفيزيائية تأسيس المقاييس أمرًا لا غنى عنه (انظر الفقرتين ١-٦). ختامًا، تظل الأفلاطونية أكثر قوة من الواقعية الميتافيزيقية لبلانك وأينشتين فيما يتعلق بالخصائص الفيزيائية (انظر الفقرتين ١-٥ و ٢-١).

---

(1) Swoyer 1987; Ellis 1987; Kyburg 1984, 17.

مكتبة الفكر الجديد

ملحق (ب)

المُبرهنة الثانية للتحليل البُعدي

التحليل البعدي هو وسيلة خلفية للمساعدة على كشف البعد الاعتباري للفيزياء، وهى تخدم في استنتاج القوانين الفيزيائية وبقدر ما تقيد عن طريق أبعاد الكميات الفيزيائية المتضمنة في المسألة[1] واعتمدت الوسيلة (الطريقة) على المُبرهنة الثانية للتحليل البُعدي الذى يربط جميع دوال الأبعاد غير المتغيرة (أو المتجانسة) للكميات الفيزيائية[2] أي لجميع القوانين الفيزيائية التي لا تعتمد على اختيار وحدة الكميات الموجودة، وقد يأخذ أي قانون فيزيائيL الشكل التالي:

$$L : f(x_1, \ldots, x_n) = 0 , \qquad \text{(B.1)}$$

حيث F هي الدالة التي تتعلق بـn من الكميات الفيزيائية (i=1,000,n) χ لنجعل k هي أقصى عدد للأساس الجبري لجميع القياسات الممكنة لـ (L) أي أقصى عدد للكميات المستقلة التي تدخل في أبعاد الـ χ حينئذ يوجد (N-K) كميات فيزيائية تعتمد على هذا الأساس للقياس، وتكون أبعادها حاصل ضرب أبعاد الكميات الأساسية K على سبيل المثال يكون الطول L هو

---

(١) تم فحص الأسس النظرية والبعد- نظرية عن طريق بريدجمان ١٩٢٢ وكامبل ١٩٢٠. وقد عرض الفصل العاشر من المرجع: **Krantz et al. 1971**، الأسس البديهية للتحليل البُعدي وناقش مبرراتها.

(2) Krantz et al. 19971,464.

مكتبة الفكر الجديد

للكمية الأساسية في الميكانيكا الكلاسيكية وكذلك الزمن (T) والكتلة M(K=3)، ويحتوى قانون القوة إضافة إلى الكمية الأساسية للكتلة كميات السرعة والقوة (n=5,n-k) حيث تكون الأبعاد (LT^{-2}،$L\ T^{-2}\ M$) هي حاصل ضرب الطول في الزمن في الكتلة.

تنص المُبرهنة الثانية على أنه قد يعاد صياغة القانون الفيزيائي L إلى قانون مكافئ (L`) بدالة F تعتمد على (n-k) للكميات اللا بعدية:

$\pi_J (1 \leq J \leq n-k)$

$$L` : F(\pi_1, \ldots\ldots, \pi_{n-k}) = 0 \qquad (B.2)$$

وقد تستعمل المُبرهنة الثانية لتستنتج من الكميات الأساسية لقياس نظام المعادلات الخطية التي تتعلق بأسس n للكميات π_j والتي قد تكونهم (على سبيل المثال، انظر Krantz et al. 1971, 472 ff). إذا تم اختيار χ_j اختيارًا نوعيًّا لكل نظام خاص فإن حساب الكميات اللابعدية π_j ينتج معلومات حول القانون الفيزيائي الذي يكون دالة $F(\pi_1, \ldots\ldots, \pi_j)$ ويصف النظام الموجود تحت الفحص، دون احتياج لمعرفة قانون فيزيائي أساسي. ومن ثم يوصف النظام بدلالة n من المحتملة التغيير χ_j، ويتم التعبير عن هذه المقيدات بدلالة الكميات الفيزيائية المشتركة المستقلة K، وفي النهاية من هذه التقييدات والمُبرهنة الثانية (والتي افترضت لتربط الكميات الفيزيائية بصفة عامة) ويشتق قانون فيزيائي نوعي لكي نصف النظام. فلكي نشتق وصف النظام، لا يتعين أن تكون نظرية النظام معروفة.

مكتبة الفكر الجديد

إن طريقة التحليل البعدي والاعتبارات البعدية المتعلقة بها تستخدم كثيرًا في الفيزياء لعمل استنتاجات سريعة لقوانين نوعية من نظريات معروفة جيدًا كما في أغراض تكوين النظرية، ويجعلونها ممكنة لتثبيت الحالات النوعية لنظرية غير معروفة والتي تخدم كتقييد في تكوين النظرية، ومع هذا فإن الاستخدام غير المشروط للطريقة يمثل مشكلة للأسباب التالية:

١- لقد استعملت الطريقة بعناية لكي تتجنب الأخطاء عندما يتم تعيين الكميات الفيزيائية التي تخص المسألة الفيزيائية[1]، لقد استعمل التصحيح للاعتبارات البعدية والمعرفة الفيزيائية الرئيسة التي تخص مهارات حاسمة للنموذج في فهم توماس كون.

٢- للأكثر دقة فإن هذه المهارات التي تخص نموذج الفيزياء الكلاسيكية وما وراء مجال الفيزياء الكلاسيكية فإن الطريقة تعمم الافتراضات المألوفة حول الكميات الفيزيائية في مثل طريقة الخواص الجبرية للطول وللزمن وللتكلة ودرجة الحرارة التى أكدت بالدليل.

٣- عند الاستخدام في مجال الكم، فإن الطريقة تعتمد على المبدأ المقابل للتصميم في فهم بور وهايزنبرج.(انظر الفقرتين ٥-٤، ٥-٥)، ومن الملاحظ أن يكون مقياس بلانك ينبني على التحليل البعدي، أيضًا. وحتى الآن لا يعرف أحد ما إذا كانت المُبرهنة الثانية قد أثبتت أهليتها في مجال جاذبية الكم أم لا؟

---

(1) krantz et al. 1971, 473.

مكتبة الفكر الجديد

ملحق (ج)

مساحة المقطع المؤثر

يوجد في الفيزياء الكلاسيكية نموذجان بسيطان جدًا للتشتت؛ النوع الأول هو التأثير المرن أو غير المرن وهذا النموذج الحركي الصرف هو نوعى للنموذج الديناميكي العام لتشتت الجهد ويقابل التأثير المرن التشتت عند جهد الصندوق. والنموذج البسيط الآخر هو التشتت عند جهد كولومب (تشتت رذرفورد) وفي النموذج الكلاسيكي العام تتشتت الجسيمات المشحونة (الكتل النقطية) التي تتحرك على طول المسارات وذلك عند بعض الجهد الاعتباري دون طاقة متنقلة (تشتت مرن) أو مصحوبة بطاقة منتقلة (تشتت غير مرن)، ففي حالة التشتت المرن توصف عملية التشتت المنفرد عن طريق المؤثر الاعتباري b والذي يعتمد على زاوية التشتت وعلى طاقة حركة الجسيم قبل التشتت E وبعده، (يمكن قيل ∂ ، E) وأن b كمية مميزة للنموذج الكلاسيكي للتشتت، (وهي أقل مسافة للجسيم المتشتت من مركز التشتت)، وبالنسبة إلى جهد كولومب V(r) = C/R تربطها العلاقة التالية:

$$b = \frac{C}{2E} \operatorname{Cot} \frac{\partial}{2} \qquad (C.1)$$

وتكون الكمية المميزة للتشتت هي مساحة المقطع المؤثر أو مساحة مقطع (التشتت). وهي تحسب في النموذج الكلاسيكي من اعتماد المؤثر

مكتبة الفكر الجديد

الاعتباري (البارامتر) b ويكون لها أبعاد المساحة ويعبر عنها بوحدات البارن($1\ barn = 10^{-24}\ cm^2$)، ويمكن التمييز بين مساحة المقطع التفاضلي والكلي في فيزياء الجسيمات.

ويتناسب مساحة المقطع التفاضلي $\left(\frac{d\sigma}{d\cap}\right)$ مع احتمالية تشتت الجسيمات لكل زاوية تشتت σ أو ما يقابل زاوية مجسمة متناهية الصغر $d\cap$) كما تقاس الكمية التجريبية $\frac{d\sigma}{d\cap}$ من التكرار للجسيمات المتشتتة إلى زاوية من مجسمة محدودة $\Delta\cap$، وفي النموذج النظري تعرف $\frac{d\sigma}{d\cap}$ من عدد الجسيمات التي تتشتت N^{sc} إلى زاوية مجسمة تفاضلية $d\cap$ التي تخص زاوية التشتت σ لكل عنصر مساحة تفاضلي df ولكل مركز تشتت ويؤخذ في النهاية الأساسية للعديد من لا نهايات الجسيمات القادمة (N_c = عدد مراكز التشتت):

$$\frac{d\sigma}{d\cap} = \lim_{n_{in}\to\infty} \frac{N^{sc}}{N_{in}.N_c}\frac{dF}{d\cap} \qquad (C.2)$$

تمثل النهاية الأساسية ببساطة عن الفرق بين الاحتمالية والتكرار النسبي؛ أي لا يتجنب الفراغ بين الكمية الاحتمالية وأساسها التجريبي وهنا تفهم الاحتمالية كنهاية للتكرار النسبي لعدد كبير جدًّا من الأحداث.

ففي فيزياء الجسيمات يكون عدد الجسيمات القادمة N^{in} لكل عنصر سطحي تفاضلي dF كمية نظرية مثل ذلك العدد لمراكز التشتت N^{st} ودون أي معرفة فإن هذه الأعداد مثل ذلك تكون معروفة فقط حتى دون أي معرفة

مكتبة الفكر الجديد

فإن هذه الأعداد $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ تكون معروفة فقط حتى بعض العوامل المعيارية، ففي النموذج الكلاسيكي يعتمد $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ على التأثير الاعتباري (البارامتر b) كما يلي:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{b}{\sin\theta}\left|\frac{db}{d\theta}\right| \qquad (C.3)$$

بالنسبة إلى جهد كولومب $V(r) = \frac{C}{r}$، فإن مساحة مقطع تشتت رذرفورد (٤,١ في بند ٤,١) يتبع مباشرة ما يأتي من (A.3)، (A.1).

وتأتي مساحة المقطع σ ببساطة عن طريق تكامل $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ على جميع الزوايا المجسمة:

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega}\, d\Omega \qquad (C.4)$$

وتعبر مساحة المقطع الكلية عن احتمالية أو التكرار النسبي لنوع معين من حدث التشتت كمقارنة مع الأنواع الأخرى لأحداث التشتت، وتكون مقياسًا "لنسبة التصادم" لنوع التفاعل، وفي النموذج الميكانيكي البسيط جدًّا للتشتت فقد توضح مساحة المقطع الكلية كمساحة مؤثرة للتفاعل؛ أي أنه كما تكون المساحة الممتدة وعديمة التأثير لمراكز التشتت تتصرف بصغر مهمل للجسيمات المختبرة المرتدة مثل الكرات الآتية من سياج الحديقة.

ولإعطاء مثال، فإن مساحة مقطع التشتت المرن للجسيمات شبه النقطية المختبرة من نصف قطر الكرة الواقعية (الصلبة) R تكون أيزوتروبك (غير معتمدة على الزاوية) وتكون مساحة مقطع التشتت الكلية σ مماثلة لمساحة المقطع الهندسية للكرة؛ أي أن $\sigma = R^2\pi$ ويتأسس بوضوح مصطلح "مساحة المقطع المؤثر" أو "مساحة مقطع التشتت" من هذا النموذج الميكانيكي البسيط.

مكتبة الفكر الجديد

وفي الديناميكا الكلاسيكية تعتمد σ أو $\frac{d\sigma}{d\cap}$ بصفة عامة ليس فقط على الكميات الهندسية ولكن أيضًا على طاقة حركة الجسيمات المختبرة وعلى الطاقة التي يمكن انتقالها، وفي حالة التشتت عند جهد كولومب يفشل التناظر الميكانيكي البسيط فيعتمد مساحة مقطع رذرفورد على الطاقة ويستطرد في الاتجاه الأمامي، ومع هذا فتربط العلاقة التالية طبقًا لـ $V = m\ v^2$ و $C/r = E$ فإن نقطة الانعطاف للجسيم ذى طاقة الحركة E أي بأقصى تشتت خلفي تكون هي نقطة أقل مسافة $R_{min} = C/E$ من مركز التشتت، ومن ثم تعرف نقطة الانعطاف بنصف القطر المؤثر C/E لمركز التشتت والذي يعتمد على طاقة الحركة E أي بأقصى تشتت خلفي تكون هي نقطة أقل مسافة $R_{min} = C/E$ من مركز التشتت، ومن ثم تعرف نقطة الانعطاف بنصف القطر المؤثر C/E لمركز التشتت والذي يعتمد على طاقة الحركة E للجسيم المشتت: كلما ازدادت طاقة التشتت اقترب الجسيم المختبر لمركز التشتت.

في ميكانيكا الكم لا توجد المسارات ولا البارامتر المؤثر، ومن ثم يفشل التوضيح السابق. ومع ذلك يمكن تعريف مساحة المقطع كمقدار احتمالي ويقاس في تجربة التشتت من التكرار النسبي لأحداث التشتت لنوع معين. في قياس مساحة المقطع في فيزياء الجسيم يتم قياس مسارات الجسيم عن طريق وسائل عد الجسيمات، في مساحة المقطع المؤثر لنوع من تفاعل جسيمي تتقابل نظرية المجال الكمي مع التجربة، وفي نوع معين من عملية تشتت دون ذري فإن σ و$\frac{d\sigma}{d\cap}$ تتناسب مع احتمال الانتقال الميكانيكي الكمي ومع العنصر المقابل للمصفوفة σ، على التوالي.

مكتبة الفكر الجديد

ملحق (د)

التحليل البعدي لتشتت رذرفورد

لقد أهمل التحليل البعدي لتشتت رذرفورد ما لم يتم التمكن من قياسه في المجال دون الذرى المسمى مسار الجسيم المتشتت، وفي هذا الطريق تم التوزيع مع البارامتر المؤثر الذي يميز التشتت المنفرد في النموذج الكلاسيكي ويكون التحليل البعدي الناتج في تشتت رذرفورد هو نظرية مستقلة، تتبني على المبدأ العام المقابل وتمت مناقشته في الفصل الخامس (الفقرة ٥-٤) وقد أفضت الاعتبارات البعدية التالية إلى نموذج نظرية مستقلة لتشتت رذرفورد وتعريفات تكوين عوامل المناقشة في الفصل الرابع (الفقرات من ٤-٢ إلى ٤-٤).

دون البارامتر الكلاسيكي المؤثر b يوصف تشتت رذرفورد بدلالة الكميات الثمانية التالية:

١- مساحة المقطع التفاضلي $d\sigma/d\Omega$.

٢- الطاقة الحركية E للجسيمات المتشتتة المختبرة.

٣- زاوية التشتت θ.

٤- ثابت التركيب الدقيق α، أي ثابت التقارن للتفاعل الكهرومغناطيسي.

مكتبة الفكر الجديد

٥/٦- أعداد الشحنة Z و $\hat{Z}$ أي أن شحنات الجسيم المختبر ومركز التشتت في مضاعفات الشحنة الكهربية الأولية e.

٧- ثابت بلانك $\hbar$ ، و

٨- سرعة الضوء C.

إن الكميات $\square$ ، α ، Z ، $\hat{Z}$ تكون لا بُعدية. ويكون كل من (الطول) L و(الزمن) T و (الكتلة) M كميات أساسية مناسبة للتحليل البُعدي. وطبقًا للنظرية الثانية (II) للتحليل البعدي يجب أن توجد (8-3=5) كميات فيزيائية لا بُعدية π_i والتي تعتمد على وصف التشتت، ويوجد أربع منها معروفة فعلاً المسماة $\pi_1 = \sigma$، $\pi_2 = \alpha$، $\pi_3 = Z$ و $\pi_4 = Z^1$ وبالتعبير في الأبعاد الأساسية L، T، M فإن مساحة المقطع التفاضلي $d\sigma/d\Omega$ يكون لها الأبعاد L^2 وتكون طاقة الحركة $E = mv^2/2$ للجسيمات المتشتتة المختبرة لها أبعاد $ML^2 T^{-1}$ و LT^{-1} على التوالي، وتوضح الحسابات البسيطة أن الكميات اللا بعدية المفقودة π_5 والتي قد تتكون من هذه الكميات الأربعة المتبقية وهي المصطلح:

$$(d\sigma/d\Omega)(\frac{E}{\hbar c})^2$$

$$\pi_5 = \frac{d\sigma}{d\Omega}(\frac{E}{\hbar c})^2 \qquad (D.1)\pi$$

ويقع هذا المصطلح في الجانب الأيسر للمعادلة (٤-٣) في (الفقرة ٤-١). وطبقا للمُبرهنة الثانية، فإن الكميات اللا بُعدية فقط للتشتت منفصلة من $\hat{Z}$ ، Z، α تكون زاوية التشتت σ ومساحة المقطع المؤثر الذي يكون لا بُعدي عن طريق ضربه في المقدار $(\frac{E}{\hbar c})^2$ ومن ثم فإن القانون الفيزيائي

مكتبة الفكر الجديد

النوعي (L^1) الذي يصف التشتت طبقًا للمُلحق (ب) معتمدًا على الكميات اللابُعدية الخمسة.

$1) \leq i \leq (5\ \pi$ يمكن أن يعتمد فقط على α، Z، Z`، σ والكمية اللا بعدية التي تم الحصول عليها من مساحة مقطع التشتت، وتأخذ الشكل التالي:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}\left(\frac{E}{\hbar c}\right)^2 = \emptyset(\theta) \qquad (D.2)$$

ويتضح بالمقارنة مع المعادلة (٤,٣) في (بند ٤,١) أن $\emptyset$ (θ تأخذ الشكل

$$\emptyset(\theta) = \frac{(zz^1\alpha)^2}{16\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)} \qquad (D.3)$$

ويكون للنتيجة التي نالت الأهمية الرئيسة في رذرفورد المسماة بالاعتماد الدالي لمساحة المقطع التفاضلي $d\sigma/d\Omega$ على زاوية التشتت θ لم تكن نابعة من التحليل البعدي، ومع ذلك فقد توضح التحليل البعدي على الأقل أن $d\sigma/d\Omega$) يعتمد فقط على الكميات الكهرومغناطيسية α، Z، Z` وزاوية التشتت θ وطاقة الحركة للجسيمات المختبرة، ولا تدخل الكميات الأخرى في وصف النموذج.

وكانت الخاصية الحاسمة لتشتيت رذرفورد $d\sigma/d\Omega$) $\left(\frac{E}{\hbar c}\right)^2$) أنها مقياس غير متغير؛ أي أنها لا تعتمد طويلاً على طاقة التشتت E ويصبح معني هذا المقياس غير المتغير واضحًا إذا افترضنا إدخال كمية فيزيائية مضافة لنموذج التشتت التي تسمى بالمقدار R ذى البعد الطولي الذي يصف

مكتبة الفكر الجديد

الامتداد المكاني للجسيمات المشتتة المختبرة أو مركز التشتت، وفي هذه الحالة فإن وجود كمية لا بُعدية مضافة π_6 الآتية من المُبرهنة الثانية بالقيمة:

$$\pi_6 = \frac{E}{\hbar c} \qquad (D.4)\pi$$

وفي هذه الحالة فإن القانون الفيزيائي (L^1) الذي يضيف التشتت يأخذ الشكل

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}\left(\frac{E}{\hbar c}\right)^2 = \emptyset\left(\theta; \frac{RE}{\hbar c}\right) \qquad (D.5)$$

وفي هذه الحالة تعتمد مساحة مقطع التشتت اللا بعدي على زاوية التشتت θ فقط، ولكن تعتمد أيضًا على طاقة الحركة E للجسيمات المختبرة وعلى الطول R الذي يصف مركز التشتت أو الجسيمات المختبرة، والآن يكون $(d\sigma/d\Omega)(\frac{E}{\hbar c})^2$ مقياسًا غير متغير طويلاً ولكن يعتمد على طاقة الحركة لتجربة التشتت.

مكتبة الفكر الجديد

ملحق (هـ)

منطق العلاقات بين الكل والأجزاء (الميريولوجيا)

طبقًا للمفهوم الميريولـوجي للجُـسيم، تكـون الجـسيمات الأجـزاء (الميكروسكوبية) الدقيقة للمادة. إن الميريولوجيا هي منطق علاقـة الجـزء بالكل، وفي الديناميكا الفيزيائية لا تُفَسر علاقة الجزء بالكل مكانيًّـا ولكـن ديناميكيًّا. إنها مؤسسة مبدئيًّا على قواعد الجمع للكميات الديناميكية من قبيل كمية الحركة، والكتلة – الطاقة، والشحنة، وكمية الحركة الزاوية، أو اللـف (المغزلي). ويتضح فيما يلي كيف يُمكن تفسير النمـاذج المُكونـة للفيزيـاء الراهنة بدلالة الميريولوجيا الصورية.

E.1 بديهيات الميريولوجيا

إن الميريولوجيا ترتيب جزئي يتأسس على البديهيات التالية[1]. العلاقة الأولية >> (هي جزء مناسب أو خاص <) التـي تحقـق مبـادئ التماثـل والانتقالية[2]:

$$x << y \Longrightarrow -y << x, \qquad \text{(E.1)}$$

$$x << y \wedge -y << Z \Longrightarrow x << Z, \qquad \text{(E.2)}$$

---

(1) Goodman 1951; Simons, 1987.
(2) Simons 1987, 26, and Goodman 1951, 34.

مكتبة الفكر الجديد

χ، Y، Z هي المتغيرات التي تجري على الفرديات المنطقية في حساب الفرديات (في نظرية المجموعات << تعريف التركيب الجزئي الدقيق مع أن نظرية المجموعات لا تستلزم هنا) مع التطابق = والعلاقة <<، والعلاقة < ("جزء من") ويمكن تعريفه:

$$x < y \iff x << y \quad V\, x = y, \qquad (E.3)$$

ولا تكون البديهيات (E.1) و (E.2) كافية لتمييز علاقة الجزء بالكل من الترتيب الجزئي الآخر. على وجه الخصوص يجب إضافة بديهية إلى (E.1) و(E.2) والتي تنص على أن أجزاء الكل تكون مميزة جيدًا في بعض الجوانب، ولفعل ذلك فإن علاقات ◊ ("تتداخل") و S ("تكون مفصولة عن") تكون معروفة:

$$\chi \Diamond y \iff 3\, z\, (Z < \chi \wedge z < y) \qquad (E.4)$$

$$\chi \wr y \iff \sim \chi \Diamond y \qquad (E.5)$$

إن أضعف بديهية طبقًا لها تكون أجزاء الكل هي المميزة جيدًا؛ تنص على أن الكل له أجزاء خاصة فقط إذا وجد على الأقل اثنان منها يكونان غير متداخلين:

$$\chi << y \Longrightarrow 3\, z\, (Z << y \wedge z \wr \chi) \qquad (E.6)$$

والكل المكون من اثنين وفقط جزئيين خاصين واضحين χ، y هي المجموع الميريولوجي χ، y وقد يعرف المجموع الميريولوجي كما يلي[1]:

---

(1) **Simons 1997, 32, definition SD7; Godman 1951, 36, definition D2.047;** تُمثل (I) هنا العامل الإشاري للمنطق الصوري.

مكتبة الفكر الجديد

$$\chi \oplus y = z \; z \; \forall \; (w \lozenge z \iff w \lozenge \chi \vee w \lozenge y)$$

ـحات (E.7) و (E.4) فإن المجموع الميريولـوجي $y \oplus \chi$

ـ. الموجود z الذي يتداخل مع χ و y. فعلي سبيل المثال المكنسة هي ـمجموع الميريولوجي للعصا (الساق) والفرشة[1]، والبديهيات (E.1) و(E.2) و (E.6) لا تتضمن وجود المجموع الميريولوجي ووضـوحه. علـى وجـه الخصوص، فإن الكيان لا يعين كاملاً بأجزائه غير المتـصلة. قـد تُكَـون الأجزاء نفسها مجموعًا ميريولوجيًّـا مختلفًـا أو كليـات[2]؛ لـذا تتأسـس الميريولوجيا "الكلاسيكية" عند ليزنيفسكي على افتراضات أقوى من البديهيات (E.1) و(E.2) و(E.6) وحدها. خاصة أنها تفترض مبدأ للامتداد طبقًا له يمكن لكيانين أن يكون لهما الأجزاء نفسها فقط إذا ما كانا أيضًا مرتبطين بعلاقـة الجزء–الكل. وتكون بديهية الامتداد الأضعف؛ هي[3]:

$$3 \; z \; (z << \chi) \wedge \forall \; z \; [z << \chi \Longrightarrow z << y) \Longrightarrow \chi < y] \qquad (E.8)$$

تنص البديهية (E.8) على أن χ لها أجزاء مناسبة z [طبقـا للبديهيـة (E.3)، على الأقل اثنان منها غير متصلين] وأن أي جزء مناسـب مـن χ يكون فقط جزءًا مناسبًا من y إذا كانت χ هي جزء من Y. إن ميريولوجيـا البديهية (E.8) يقال: إنها امتدادية. وإذا لم يتم التسليم بالبديهيـة (E.8) فـإن المجموع الميريولوجي لكيانين لا يكون واضـحًا، ويـدعى مـن الناحيـة

---

(1) Simons 1987, 14.

(2) Simons 1987, 32-37, وهو يناقش العديد من البديهيات التي تضمن وجود المجموع الميريولوجي وتفرده.

(3) Simons 1987, 239.

مكتبة الفكر الجديد

الميريولوجية غير امتداديًّا. ترتكز ميريولوجيا ليزنويسكي الكلاسيكية على افتراضات أكثر قوة من البديهية (E.8).

وهي تتمتع على وجه الخصوص بالبنية البولية الجبرية Boolean algebra دون العنصر الصفرى وأنها تفترض أنه لأي كيانين x و y يوجد مجموع ميريولوجي $x \oplus y$(Simons 1987, 25 and 37 ff) .

E.2 الميريولوجيا والفيزياء

قد تتصل الميريولوجيا بالصياغة الرياضية للنظريات الفيزيائية بتناول المجموعات بشكل فردي. يؤدي الاعتماد على الافتراضات حول المجموعات إلى الحصول على نظام أضعف أو أقوى لبديهيات علاقة الجزء – بالكل. مع الفواصل الاعتبارية للأعداد الحقيقة مثل المنفردات وعلاقة المجموعة النظرية $\supset$ مثل العلاقة المناسبة للجزء – بالكل $\ll$ (and $\subseteq$ as $<$) وقد تتركب الميريولوجيا الممتدة في العلاقات التي تتشابك $\Diamond$ وتكون غير متصلة $\int$ ويكون لها المعني المُعتاد للمجموعة – النظرية.

وفي حالة البعد الواحد فإن هذا يعني: فاصلان متشابكان إذا كان تقاطعهما ليس فارغًا وأنهما يكونان غير متصلين إذا كانت المجموعة الفارغة O، وهذه الميريولوجيا تُحقق بوضوح البديهيات (E.1) و (E.2) و (E.6) ويوجد المجموع الميريولوجي نسبة إلى $\supset$ لأى فاصلين ويكون غير غامض وهو اتحادهما، ومن ثم بالنسبة إلى الفواصل في مجموعة الأعداد الحقيقية يربط مبدأ الممتد (E.8) (المقابل لامتداد البديهي لبديهية نظرية المجموعة)، ومع هذا فإن

مكتبة الفكر الجديد

وجود المجموع المنطقي المجرد يكون مضمونًا فقط إذا كانت فروع المجموعات غير المتصلة للأعداد الحقيقية مسموحًا بها كمتفردات.

ما يعكس نظام ليزنيوسكي البديهي أنه اعترض العلاقة "يتكون من" (التي أساسها مكونات النماذج الجزيئية والذرية وفيزياء دون الذرة) كان يجب شرحها بدلالة الميريولوجيا غير الممتدة[1]. يبدو أن اعتراض ريشر يستهدف واقعتين. الأولى عند جميع مستويات تكوين المادة فقد تكون مكونات المادة نفسها أنظمة مختلفة مكونة الخواص الفيزيائية المختلفة والكيميائية وحتى البيولوجية، وأمثلة معروفة جيدًا من العلوم الطبيعية السارية حاليًا هي الفرق بين عقارب الساعة وعداد عقارب الساعة جزيئات الحمص اللبني وأطوار المادة المختلفة (جوامد وسوائل وغازات) والإمكانيات المختلفة للربط الكيميائي والإثارات للذرة أو الأنظمة المركبة للكواركات التي تحدث لها درونات ذات الكتل واللف المختلف. والحقيقة الثانية عناصر النماذج للذرة وفيزياء دون الذرة المنبنية على نظرية الكم ولكن ليس للخواص الكمية تركيب بولين الجبري الذي افترضته مقدمًا امتدادات الميريولوجيا لليزينويسكي.

ومع هذا فقد أهمل ريشر Rescher حقيقة أن أي تفسير غير امتدادي لعلاقة الجزء بالكل في فيزياء مفترضة مقدمًا لعلاقة ممتدة لجزء بكل، كما أن الرياضيات الأساسية تنبني على نظرية المجموعات، وكما أن ديناميكا النظام المقيد افترض مقدمًا خلفية الزمان المكان. إضافة إلى حقيقة أن

---

(1) Rescher 1955,10 ;

وأيضًا: Simons1987 ,112 -117

مكتبة الفكر الجديد

النماذج المكونة للفيزياء لها ديناميكا كما يجب الأخذ في الحسبان المظاهر الزمانية المكانية وعلى النقيض مع المناظرات الفلسفية المعتادة للمذهب الذري (مثال ما جاء في مناظرة ليبنز– كلارك أو انعكاسها في عمل كانط النقدي وغير النقدي)، فقد ركزت الفيزياء الحديثة على المظاهر الديناميكية لنماذج عناصر المادة، ومن ثم لم تهتم اعتراضات ريشر بحقيقة أن العلاقة الصورية للجزء – بالكل تفتقر جدًا إلى التغلب على مشكلات عناصر نماذج الفيزياء.

E.3 مُكونات المادة

في الفيزياء الحديثة تتبني نماذج عناصر المادة على ديناميكية الأنظمة المقيدة، ويربط نموذج المُكون الشيء y وأجزائه المكونة χ باعتبار y نظامًا مقيدًا بـ $\sum(\chi_1, \dots \dots, \chi_n)$n من الكيانات χ_i:

$$y = \sum(\chi_1, \dots \dots, \chi_n) \qquad (E.9)$$

لنموذج المُكون للفيزياء مظاهر وجودية ونظرية، من المنظور الأنطولوجي؛ تعني البديهية (E.9) أن y تتكون من χ_i؛ أي أن y هي المجموع الميريولوجي للعدد n من الأجزاء المميزة جيدًا والمناسبة χ_i:

$$y = \chi_1 \oplus \dots \dots \oplus \chi_n \qquad (E.10)$$

حيث إن إجمال y هو الموجود الزماني المكاني الذي يملأ منطقة زمان مكاني معين، وإضافة إلى البديهيات (E.1)، (E.2)، (E.6) فيتم الاحتياج إلى البديهية (E.8) الخاصة بالامتداد، ومع هذا فطبقا لـ (E.9) فإن y تكون أكثر

مكتبة الفكر الجديد

من مجرد تجميع أو تحصيل كلي لـ χ_i في الزمان المكاني وأنها نظام مقيد لـ χ_i، ويفترض أن y ككل هي موجودة مكانية – زمانية والتي تتأسس من قوى تعمل بين الـ χ_i، وهذا يعني أن بعض الخواص الفيزيائية الحاسمة لـ y يتم شرحها بالخواص الفيزيائية وبتفاعلات الـ χ_i.

وهنا تأتي النظرية الفيزيائية وهي تتطلب أن الوصف الـديناميكي T_y لـ y يقل تقريبًا إلى الوصف الديناميكي T_x لـ χ_i، وفي عناصر النموذج المثالي تتماثل النظريتان T_x, T_y، وفي هذه الحالة الـديناميكا الفيزيائية T تصف y كنظام مقيد لـ $s(\chi_1, \ldots\ldots, \chi_n)$n من الأشياء χ_i بدلالة بعض الكميات الفيزيائية $\mathcal{P}$:

$$T(\mathcal{P}(y)) = s(\mathcal{P}(\chi_1), \ldots\ldots, \mathcal{P}(\chi_n)) \qquad (E.11)$$

بصفة عامة تحمل الـ χ_iو Y الخواص الديناميكية مثل الكتلة والشحنة التي تعطي كدوال للمحاور الزمنية المكانية، وأنها تتفاعل طبقًا للقوانين الـ Tوالتي تعطي بدلالة المعادلات التفاضلية لجميع هذه الكميات، وبهذه الطريقة منطقة الزمان ومكان المنشغلة بـ Y يتم شرحها بدلالة ديناميكية الـ χ_i، ومن ثم يكون لديناميكية النظام المقيد s مظهران نظريان مختلفان تمامًا:

(١) هي تشرح كيفية حركة عناصر الـ χ_i لمنطقة الزمان مكان المشغول عن طريق Y.

(٢) وهي تعطي قواعد الجمع للطريق الذي فيه الخواص الديناميكية لـ Y تضيف من الخواص الخاصة بالـ χ_i.

مكتبة الفكر الجديد

طبقًا لـ (١)، فإن T تُفسر امتداد الـ Y بدلالة زمان مكان علاقة الجزء بالكل، وفي هذه الناحية فإن أقل متطلب بالنسبة إلى كل الـ Y الذي له أجزاء χ_i تكون تلك الأجزاء التي قد تتمركز في الكُل. وتبعًا لـ (٢) فإن قواعد الجمع للكميات الديناميكية مثل الكتلة والشحنة تُفسر الخواص الديناميكية μ_{χ} لـ Y بدلالة الخواص الخاصة بالـ μ_{x_i} لـ χ_i، محدثة لعدة علاقات ديناميكية جزئية من كل لأى كمية محفوظة لـ T:

$$\mu_{\chi} = \sum_{i=1}^{n} \mu_{x_i} \qquad \text{(E.12)}$$

بينما تكون علاقة الجزء الكل الزمانية المكانية ممتدة، وقواعد الجمع الفيزيائية لا تدعم الميريولوجيا الممتدة.

مكتبة الفكر الجديد

قائمة المراجع

Abachi, S., et al. (1995): Observation of the top quark, Phys. Rev. Lett. **74**, 2632–2637

Abe, F., et al. (1995): Observation of top quark production in $p\bar{p}$ collisions with the collider detector at Fermilab, Phys. Rev. Lett. **74**, 2626–2631

Afshar, S.S. (2003): Sharp complementary wave and particle behaviours in the same 'welcher weg' experiment. Available as an e-print (26 June 2006) at **http://irims.bluemirror.net/quant-ph/030503**

Aitchison, I.J.R. (1982): *Gauge Theory in Particle Physics*, Hilger, Bristol

Anderson, C.D. (1932): The apparent existence of easily deflectable positives, Science **76**, 238

Anderson, C.D. (1933): The positive electron, Phys. Rev. **43**, 491–494

Anderson, C.D., and Anderson, H.L. (1983): Unraveling the particle content of cosmic rays. In: Brown and Hoddeson (1983) pp. 131–154

Anderson, P.W. (1997): *Concepts in Solids*, World Scientific, Singapore

Andrade, E.N. da C. (1964): *Rutherford and the Nature of the Atom*, New York

Armstrong, D.M. (1987a): Comments on Swoyer and Forge. In: Forge (1987) 311–317

Armstrong, D.M. (1987b): Are quantities relations? A reply to Bigelow and Pargetter, Philosophical Studies **54**, 305–316

Aspect, A., Grangier, P., and Roger, G. (1982): Experimental realization of Einstein–Podolsky–Rosen–Bohm gedankenexperiment. A new violation of Bell's inequalities, Phys. Rev. Lett. **49**, 91–94

Auyang, S.Y. (1995): *How is Quantum Field Theory Possible?* Oxford University Press, New York

Bacon, F. (1620): *Novum Organum*, Apud Joannem Billium, London. New edn. by L. Jardine and M. Silverthorne, Cambridge University Press, Cambridge (2000)

Balzer, W. (1987): Sneeds Zirkel ist nicht wegzukriegen, Conceptus XXI, 103

Balzer, W., Moulines, C.U., and Sneed, J.D. (1987): *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Reidel, Dordrecht

Balzer, W., and Moulines, C.U. (Eds.) (1996): *Structuralist Theory of Science. Focal Issues, New Results*, de Gruyter, Berlin, New York

Bailer-Jones, D.M. (1997): *Scientific Models. A Cognitive Approach with an Application in Astrophysics*, University of Cambridge, Cambridge

Bailer-Jones, D.M. (2004): Models in philosophy of science, Habil. Thesis, Bonn (to be published)

Bartell, L.S. (1980): Complementarity in the double-slit experiment. On simple realizable systems for observing intermediate particle–wave behaviour, Phys. Rev. D **21**, 1698–1699

مكتبة الفكر الجديد

Bartels, A. (1994): *Bedeutung und Begriffsgeschichte*, Schöningh, Paderborn
Bell, J.S. (1964): On the Einstein–Podolsky–Rosen paradox, Physics **1**, 195–200
Beller, M. (1999): *Quantum Dialogue. The Making of a Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, London
Beltrametti, E.G., and Cassinelli, G. (1981): *The Logic of Quantum Mechanics*, Addison-Wesley, Reading (Mass.), London
Berkeley, G. (1721): *De Motu – sive, de motus principio et natura, et de causa communications mottum*, Impensis Jacobi Tonson, London. New edn. in: A.A. Luce and T.E. Jessop (Eds.): *The Works of George Berkeley, Bishop of Cloyne*, Thomas Nelson, London (1948–1957)
Bernays, P. (1922): Die Bedeutung Hilberts für die Philosophie der Mathematik, Die Naturwissenschaften (David Hilbert zur Feier seines sechzigsten Geburtstages) **10**, 93–99
Bethe, H. (1930): Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie, Annalen der Physik **5**, 325–400
Bethe, H. (1932): Bremsformel für Elektronen relativistischer Geschwindigkeit, Z. Physik **76**, 293–299
Bethe, H., and Heitler, W. (1934): On the stopping of fast particles and on the creation of positive electrons, Proc. Roy. Soc. A **146**, 83–112
Bethge, K., and Schröder, U.E. (1968): *Elementarteilchen*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
Bjorken, J.D., and Drell, S.D. (1964): Relativistic Quantum Mechanics, McGraw-Hill, New York
Bjorken, J.D. (1965): *Relativistic Quantum Fields*, McGraw-Hill, New York
Bjorken, J.D. (1969): Asymptotic sum rules at infinite momentum, Phys. Rev. **179**, 1547–1553
Bjorken, J.D. (1970): High-energy inelastic neutrino–nucleon interactions, Phys. Rev. D **1**, 3151–3160
Bjorken, J.D., and Paschos, E.A. (1969): Inelastic electron and γ–proton scattering and the structure of the nucleon, Phys. Rev. **185**, 1975–1982
Bloch, F. (1933): Bremsvermögen von Atomen mit mehreren Elektronen, Z. Physik **81**, 363–376
Bloom, E.D., Coward, D.H., DeStaebler, H., Drees, J., Miller, G., Mo, L.W., and Taylor, R.E. (1969): High-energy inelastic e–p scattering at 6° and 10°, Phys. Rev. Lett. **23**, 930–934. Repr. in: Cahn and Goldhaber (1989)
Bogen, J., and Woodward, J. (1988): Saving the phenomena, The Phil. Rev. **97**, 303–352
Bogoliubov, N.N., and Shirkov, D.V. (1959): *Introduction to the Theory of Quantized Fields*, Interscience Publishers, New York
Bohm, D. (1952): A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables, I and II, Phys. Rev. **85**, 166–179, 180. Repr. in: Wheeler and Zurek (1983)
Bohr, N. (1913a): On the theory of the decrease of velocity of moving electrified particles on passing through matter, Phil. Mag. **25**, 10–31. Repr. in: *Bohr Collected Works* (BCW), North-Holland (Elsevier) Amsterdam, Vol. 2, 18–39
Bohr, N. (1913b): On the constitution of atoms and molecules, Phil. Mag. **26**, 1 (Part I); 476 (Part II); 857 (Part III). Repr. in: BCW 2, 161–233
Bohr, N. (1915): On the decrease of velocity of swiftly moving electrified particles on passing through matter, Phil. Mag. **30**, 581–612. Repr. in: BCW 8, 127–160

مكتبة الفكر الجديد

Bohr, N. (1920): Über die Serienspektren der Elemente, Z. Physik **2**, 423–469. Engl. transl. in: Bohr (1922)
Bohr, N. (1922): *The Theory of Spectra and Atomic Constitution*, Cambridge University Press, Cambridge
Bohr, N. (1923): Über die Anwendung der Quantentheorie auf den Atombau: I. Die Grundpostulate der Quantentheorie, Z. Physik **13**, 117–165. Engl. transl. in: Proc. of the Cambridge Philosophical Society **2** (1924), 1–42. Repr. in: BCW 3, 458–499
Bohr, N. (1928): The quantum postulate and the recent development of atomic Theory, Nature **121**, 580–590. Repr. in: Wheeler and Zurek (1983) pp. 87–126. Modified version of the Como Lecture (1927). Both versions in: BCW 6, 109–158
Bohr, N. (1935a): Quantum mechanics and physical reality, Nature **136**, 65. Repr. in: Wheeler and Zurek (1983) p. 144
Bohr, N. (1935b): Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? Phys. Rev. **48**, 695–702. Repr. in: Wheeler and Zurek (1983) pp. 145–151
Bohr, N. (1937): Causality and complementarity, Phil. of Sci. **4** (3), 289–298
Bohr, N. (1948): On the notions of causality and complementarity, Dialectica **2**, 312–318 Repr. in: BCW 7, 330–337
Bohr, N. (1949): Discussion with Einstein on epistemological problems of atomic physics. In: Schilpp (1949) pp. 115–150. Repr. in: Wheeler and Zurek (1983) pp. 9–49
Bohr, N., Kramers, H.A., and Slater, J.C. (1924): The quantum theory of radiation, Phil. Mag. **47**, 785–802. Repr. in: B.L. van der Waerden (Ed.): *Sources of Quantum Mechanics*, Dover, New York (1967) pp. 159–176
Born, M. (1926a): Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge, Z. Physik **37**, 863–867. Engl. transl. in: Wheeler and Zurek (1983) pp. 52–55
Born, M. (1926b): Quantenmechanik der Stoßvorgänge, Z. Physik **38**, 803–827. Repr. in: Herrmann (1962)
Born, M. (1926c): Zur Wellenmechanik der Stoßvorgänge, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen **1926**, 146–160. Repr. in: Herrmann (1962)
Bothe, W., and Geiger, H. (1925): Über das Wesen des Comptoneffekts, Z. Physik **32**, 639–663
Breidenbach, M., Friedman, J.I., and Kendall, H.W. (1969): Observed behavior of highly inelastic electron–proton scattering, Phys. Rev. Lett. **23**, 935–939. Repr. in: Cahn and Goldhaber (1989)
Breit, G., and Wheeler, J.A. (1934): Collision of two light quanta, Phys. Rev. **46**, 1087–1091
Bridgman, P.W. (1922): *Dimensional Analysis*, Yale University Press, New Haven
Bridgman, P.W. (1927): *The Logic of Modern Physics*, Macmillan, New York
Brown, H.I. (1987): Naturalizing observation. In: Nersessian (1987) 179–193
Brown, H.R., and Harré, R. (Eds.) (1988): *Philosophical Foundations of Quantum Field Theory*, Clarendon Press, Oxford
Brown, L.M., and Hoddeson, L. (1983): *The Birth of Particle Physics*, Cambridge University Press, Cambridge
Brown, L.M., Dresden, M., and Hoddeson, L. (Eds.) (1989): *Pions to Quarks. Particle Physics in the 1950s*, Cambridge University Press, Cambridge
Busch, P., Lahti, P.J., and Mittelstaedt, P. (1991): *The Quantum Theory of Measurement*, Springer, Berlin

مكتبة الفكر الجديد

Busch, P., Grabowski, M., and Lahti, P.J. (1995): *Operational Quantum Physics*, Springer, Berlin, Heidelberg

Busch, P., and Mittelstaedt, P. (1991): The problem of objectification in quantum mechanics, Found. Phys. **8**, 889–904

Busch, P., and Lahti, P.J. (1995): The complementarity of quantum observables: Theory and experiments, Rivista del Nuovo Cimento **18**, 1–27. Also `http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0406132`

Butts, R.E., and Brown, J.R. (Eds.) (1989): *Constructivism and Science*, Kluwer, Dordrecht

Cahn, R.N., and Goldhaber, G. (1989): *The Experimental Foundations of Particle Physics*, Cambridge University Press, Cambridge

Callender, C., and Huggett, N. (2001): *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale*, Cambridge University Press, Cambridge

Campbell, N.R. (1920): *Foundations of Science*, Dover, New York (1957). A reduced photographic reprint of the edition of *Physics. The Elements*, Cambridge (1920)

Cao, T.Y. (Ed.) (1999): *Conceptual Foundations of Quantum Field Theory*, Cambridge University Press, Cambridge

Carnap, R. (1928): *Der logische Aufbau der Welt*, Weltkreis Verlag, Berlin. Engl. transl. by R.A. George: *The Logical Structure of the World*, Open Court, Chicago, Ill. (2003)

Carnap, R. (1931): Überwindung der Metaphysik durch logische Untersuchung der Sprache, Erkenntnis **2**, 219–241

Carnap, R. (1947): *Meaning and Necessity*, University of Chicago Press, Chicago

Carnap, R. (1956): The methodological character of theoretical concepts. In: H. Feigl and M. Scriven (Eds.): *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science Vol. 1, University of Minnesota Press, Minneapolis, pp. 38–76

Carnap, R. (1966): *Philosophical Foundations of Physics*, Dover, New York

Carrier, M. (1991): What is wrong with the miracle argument? Stud. in Hist. and Phil. of Sci. **22**, 23–36

Carrier, M. (1993): What is right with the miracle argument. Establishing a taxonomy of natural kinds, Stud. in Hist. and Phil. of Sci. **24**, 391–409

Carson, E., and Huber, R. (Eds.) (2006): *Intuition and the Axiomatic Method*, Springer, Dordrecht

Cartwright, N. (1983): *How the Laws of Physics Lie*, Clarendon Press, Oxford

Cartwright, N. (1989): *Nature's Capacities and Their Measurement*, Clarendon Press, Oxford

Cartwright, N. (1999): *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge University Press, Cambridge

Cassidy, D. (1981): Cosmic ray showers, high energy physics, and quantum field theories: Programmatic interactions in the thirties, Hist. Stud. Phys. Sci. **12**, 1–39

Cassirer, E. (1937): Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik, Gøteborg. Reprint in: H.-W. Wendt (Ed.): *Zur modernen Physik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1957)

Chevalley, C. (1991): Introduction et glossaire. Analyse et synthèse. In: *Niels Bohr: Physique Atomique et Connaissance Humaine*, Gallimard, Paris, pp. 17–144 and 345–567

مكتبة الفكر الجديد

Christenson, J.H., Cronin, J.W., Fitch, V.L., and Turlay, R. (1964): Evidence for the 2π decay of the K_2^0 meson, Phys. Rev. Lett. **13**, 138–140

Churchland, P.M., and Hooker, C.A. (Eds.) (1985): *Images of Science*, University of Chicago Press, Chicago

Clauser, J.F., and Horne, M.A. (1974): Experimental consequences of objective local theories, Phys. Rev. D **10**, 526–535

Clifton, R., and Halvorson, H. (2002): No place for particles in relativistic quantum theories? Philosophy of Science **69**, 1–28. Repr. in: *Quantum Entanglements. Selected Papers*, ed. by J. Butterfield and H. Halvorson, Oxford University Press, Oxford (2004)

Cohen, H. (1885): *Kants Theorie der Erfahrung*, Duemmler, Berlin (2nd extended edn.). Reprint in: Werke, Vol. 1.1, Olms, Hildesheim (1977 ff.)

Cohen, H. (1896): Einleitung mit kritischem Nachtrag zur 9. Auflage der Geschichte des Materialismus von Friedrich Albert Lange. Repr. in: Werke, Vol. 5.2, Olms, Hildesheim (1977 ff.)

Compton, A.H. (1923): A quantum theory of the scattering of X-rays by light elements, Phys. Rev. **21**, 483–502

Compton, A.H., and Allison, S.K. (1935): *X-Rays in Theory and Experiment*, Macmillan, Toronto, New York, London

Cowan, G. (1998): *Statistical Data Analysis*, Clarendon Press, Oxford

Cramer, J.G. (1986): The transactional interpretation of quantum mechanics, Rev. Mod. Phys. **58**, 647–687

Crisp, M.D., and Jaynes, E.T. (1969): Radiative effects in semiclassical theory, Phys. Rev. **179**, 1253–1261

Darrigol, O. (1992): *From c-Numbers to q-Numbers*, University of California Press, Berkeley

Daston, L. (Ed.) (2000): *Biographies of Scientific Objects*, University of Chicago Press, Chicago

Davidson, D. (1974): On the very idea of a conceptual scheme. Proc. and Addr. of the Am. Phil. Ass. 47. Repr. in: Davidson, D.: *Inquiries into Truth and Interpretation*, Clarendon Press, Oxford (1984) pp. 183–198

Davisson, C., and Germer, L.H. (1927): Diffraction of electrons by a crystal of nickel, Phys. Rev. **30**, 705–740

de Broglie, L. (1923): Ondes et quanta, Comptes rendus **177**, 507–510

Debye, P. (1923): Zerstreuung von Röntgenstrahlen und Quantentheorie, Phys. Zeitschrift **24**, 161–166. Engl. transl. in: *The Collected Papers of P.J.W. Debye*, Interscience, New York (1954) pp. 80–88

Descartes, R. (1644): *Principia philosophiae*, Apud Ludovicum Elzevirium, Amsterdam. Engl. transl. by Miller, V.: *Principles of Philosophy*, transl. with explanatory notes, Kluwer, Dordrecht (1984)

Dirac, P.A.M. (1927): The quantum theory of the emission and absorption of radiation, Proc. Roy. Soc. A **113**, 243–265

Dirac, P.A.M. (1928a): The quantum theory of the electron, Proc. Roy. Soc. (London) A **117**, 610–624

Dirac, P.A.M. (1928b): The quantum theory of the electron (Part II), Proc. Roy. Soc. (London) A **118**, 351–361

Dirac, P.A.M. (1958): *The Principles of Quantum Mechanics*, Oxford University Press, Oxford, London

Drell, S.D., and Zachariasen, F. (1961): *Electromagnetic Structure of Nucleons*, Oxford University Press, London, Oxford

مكتبة الفكر الجديد

Duhem, P. (1906): *La theorie physique, son objet et sa structure*, Chevalier & Rivière, Paris. Engl. transl. by P.P. Wiener: *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton University Press, Princeton (1991)

Dürr, S. (2006): The phase of a Bose–Einstein condensate. To appear in: Physics and Philosophy. Open Access Online Journal: `http://physphil.uni-dortmund.de/`

Dürr, S., Nonn, T., and Rempe, G. (1998a): Origin of quantum-mechanical complementarity probed by 'which-way' experiment in an atom interferometer, Nature **395**, 33–37

Dürr, S., Nonn, T., and Rempe, G. (1998b): Fringe visibility and which-way information in an atom interferometer, Phys. Rev. Lett. **81** (26), 5705–5709

Dürr, S., and Rempe, G. (2000a): Wave–particle duality in an atom interferometer, Advances in Atomic, Molecular and Optical Physics **42**, 29–71

Dürr, S., and Rempe, G. (2000b): Can wave–particle duality be based on the uncertainty relation? Am. J. Phys. **68** (11), 1021–1024

Earman, J. (1989): *World Enough and Spacetime*, MIT Press, Cambridge (Mass.)

Eddington, A. (1939): *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge. Repr. with corrections: Cambridge University Press (1949)

Einstein, A. (1905): Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, Annalen der Physik **17**, 132–148

Einstein, A. (1917): Zur Quantentheorie der Strahlung, Physikal. Zeitschrift **18**, 121–128

Einstein, A. (1936): Physik und Realität. Talk in Albany (New York), Oct. 15th, 1936. Reprint in: Einstein (1993) pp. 63–130

Einstein, A. (1949): Autobiographical Notes. In: Schilpp (1949), pp. 1–94

Einstein, A. (1993): *Aus meinen späten Jahren*, 4th edn., Ullstein Verlag, Frankfurt, Berlin

Einstein, A., Podolsky, B., and Rosen, N. (1935): Can quantum mechanical description of reality be considered complete? Phys. Rev. **47**, 777–780

Ellis, B. (1968): *Basic Concepts of Measurement*, 2nd edn., Cambridge University Press, Cambridge

Englert, B.-G. (1996): Fringe visibility and which-way information: An inequality, Phys. Rev. Lett. **77**, 2154–2157

Englert, B.-G. (1998): Von wißbaren und unwißbaren Wegen, Phys. Bl **54**, 999–1000

Englert, B.-G., Schwinger, J., and Scully, M.O. (1990): Center-of-mass motion of masing atoms. In: A.O. Barut (Ed.): *New Frontiers in Quantum Electrodynamics and Quantum Optics*, Plenum Press, New York, pp. 513–519

Englert, B.-G., and Scully, M.O. (1990): Good and bad welcher weg detectors. In: A.O. Barut (Ed.): *New Frontiers in Quantum Electrodynamics and Quantum Optics*, Plenum Press, New York, pp. 507–512

Englert, B.-G., Scully, M.O., and Walther, H. (1991): Quantum optical tests of complementarity, Nature **351**, 111–116

Englert, B.-G., Scully, M.O., and Walther, H. (1995): Complementarity and uncertainty, Nature **375**, 367–368

Ernst, F.J., Sachs, R.G., and Wali, K.C. (1960): Electromagnetic form factors of the nucleon, Phys. Rev. **119**, 1105–1114

Falkenburg, B. (1988): The unifying role of symmetries in particle physics, Ratio (New Series) **1**, 113–134

مكتبة الفكر الجديد

Falkenburg, B. (1993a): The concept of spatial structure in microphysics, Phil. Nat. **30/2**, 208–228
Falkenburg, B. (1993b): Substanzbegriff und Quantentheorie, Phil. Nat. **30**, 229–246
Falkenburg, B. (1993c): Hegel on mechanistic models of light. In: Petry, M.J. (Ed.): *Hegel and Newtonianism*, Kluwer, Dordrecht, pp. 531–546
Falkenburg, B. (1995): *Teilchenmetaphysik. Zur Realitätsauffassung in Wissenschaftsphilosophie und Mikrophysik*, 2nd edn., Spektrum, Heidelberg
Falkenburg, B. (1996): The analysis of particle tracks. A case for trust in the unity of physics, Stud. Hist. Phil. Mod. Phys. **27**, 337–371
Falkenburg, B. (1998): Bohr's principles of unifying quantum disunities, Phil. Nat. **35/1**, 95–120
Falkenburg, B. (2000): *Kants Kosmologie. Die wissenschaftliche Revolution der Naturphilosophie im 18. Jahrhundert*, Klostermann, Frankfurt
Falkenburg, B. (2000a): How to observe quarks. In: E. Agazzi and M. Pauri (Eds.): *The Reality of the Unobservable*, Kluwer, Dordrecht, pp. 329–341
Falkenburg, B. (2001): Die Maßsetzung im Endlichen. Introduction to: Wind (1934) (new German edn., Suhrkamp Verlag, Frankfurt) pp. 11–59
Falkenburg, B. (2002a): Measurement and ontology: What kind of evidence can we have for quantum fields? In: Kuhlmann et al. (2002) pp. 235–254
Falkenburg, B. (2002b): Correspondence and the non-reductive unity of physics. In: C. Mataix and A. Rivadulla (Eds.): *Física Cuántica y Realidad - Quantum Physics and Reality*, Editorial Complutense, Madrid
Falkenburg, B. (2004): Experience and completeness in physical knowledge: Variations on a Kantian Theme. In: Meixner and Newen (2004) pp. 153–176
Falkenburg, B. (2006a): Functions of intuition in quantum physics. In: Carson and Huber (2006) pp. 267–292
Falkenburg, B. (2006b): Metamorphosen des Teilchenkonzepts. In: H. Fischler and C.S. Reiners (Eds.): *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht*, Logos, Berlin (to appear) pp. 25–45
Falkenburg, B., and Schnepf, R. (1998): Kausalität in Metaphysik und Physik. In: B. Falkenburg and D. Pätzold (Eds.): *Verursachung. Repräsentationen von Kausalität*, Dialektik **1998/2**, 27–48
Falkenburg, B., and Ihmig, K.-N. (2004): "Hypotheses non fingo." Newtons wissenschaftliche Methodenlehre, DFG – Fa 261/5-1
Faye, J. (1991): *Niels Bohr, His Heritage and Legacy. An Anti-Realist View of Quantum Mechanics*, Kluwer, Dordrecht
Feynman, R.P. (1949a): The theory of positrons, Phys. Rev. **76**, 749–759
Feynman, R.P. (1949b): Space-time approach to quantum electrodynamics, Phys. Rev. **76**, 769–789
Feynman, R.P. (1961): *Quantum Electrodynamics*, Benjamin, New York
Feynman, R.P. (1969): Very high-energy collisions of hadrons, Phys. Rev. Lett. **23**, 1415–1417
Feynman, R.P. (1985): *QED – The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, Princeton
Feynman, R.P. (1987): The reasons for antiparticles. In: Feynman, R.P., and Weinberg, S.: *Elementary Particles and the Laws of Physics*, The 1986 Dirac Memorial Lectures, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1–59
Feynman, R.P., Leighton, R.B., and Sands, M. (1965): *The Feynman Lectures on Physics*, Part III, Addison-Wesley, Reading (Mass.)

مكتبة الفكر الجديد

Fine, A. (1984): The natural ontological attitude. In: Leplin (1984) pp. 83–107
Foerster, H.V. (1981): Das Konstruieren einer Wirklichkeit. In: Watzlawick, P.: *Die erfundene Wirklichkeit*, Piper, München
Folse, H.J. (1985): *The Philosophy of Niels Bohr: The Framework of Complementarity*, North Holland, Amsterdam
Forge, J. (Ed.) (1987): *Measurement, Realism and Objectivity*, Reidel, Dordrecht
Fox, T. (2006): Relativer Atomismus, Dissertation, University of Dortmund
Franklin, A. (1986): *The Neglect of Experiment*, Cambridge University Press, Cambridge
Franklin, A. (1990): *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge University Press, Cambridge
Franklin, A. (2001): *Are There Really Neutrinos? An Evidential History*, Perseus Books, Cambridge (Mass.)
Frege, G. (1884): *Die Grundlagen der Arithmetik. Eine logisch mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl*, M. Marcus, Breslau. Repr. by Thiel, Ch. (Ed.): Meiner, Hamburg (1986)
Frege, G. (1892): Über Sinn und Bedeutung, Zeit. f. Phil. u. phil. Kritik **100**, 25–50
Friedman, M. (1974): Explanation and scientific understanding, Journ. of Phil. **71**, 5–19. Repr. in: Joseph C. Pitt (Ed.): *Theories of Explanation*, Oxford University Press, Oxford (1988)
Friedman, M. (1983): *Foundations of Space-Time Theories*, Princeton University Press, Princeton
Friedman, M. (1992): *Kant and the Exact Sciences*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.), London
Friedman, M. (1999): *Reconsidering Logical Positivism*, Cambridge University Press, Cambridge
Friedman, M. (2000): *A Parting of the Ways. Carnap, Cassirer, Heidegger*, Open Court, Chicago, La Salle (Illinois)
Galileo, G. (1638): *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno à due nuove scienze Attenti alle Mecanica i Movimenti Locali*, Leyden. Engl. transl.: *(Discourses on the) Two New Sciences*, transl. and ed. by S. Draken, Toronto (2000, 2nd edn.)
Galison, P. (1987): *How Experiments End*, University of Chicago Press, Chicago
Geiger, H., and Marsden, E. (1913): Die Zerstreuungsgesetze der α-Strahlen bei großem Ablenkungswinkel, Phil. Mag. **25**, 604–623
Gelfert, A. (2003): Manipulative success and the unreal, International Studies in the Philosophy of Science **17/3**, 245–263
Giuntini, R. (1991): *Quantum Logic and Hidden Variables*, Bibliographisches Institut (Wiss.-Verl), Mannheim
Giulini, D., Joos, E., Kiefer, C., Kupsch, J., Stamatescu, I.-O. and Zeh, H.D. (1996): *Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory*, Springer Verlag, Berlin
Goldberger, M.L., and Watson, K.M. (1975): *Collision Theory*, Wiley, New York
Goodman, N. (1951): *The Structure of Appearance*, Kluwer, Harvard, Dordrecht (1977 3rd edn.)
Grangier, P., Rogier, G., and Aspect, A. (1986): Experimental evidence for a photon anti-correlation effect on a beamsplitter, Europhys. Lett. **1**, 173–179
Greenstein, G., and Zajonc, A.G. (1997): *The Quantum Challenge. Modern Research on the Foundations of Quantum Mechanics*, Jones and Bartlett, Boston

مكتبة الفكر الجديد

Grimsehl, E. (1938): *Grimsehls Lehrbuch der Physik*, ed. by R. Tomaschek, Teubner, Leipzig, Berlin (8th edn.)
Grünbaum, A. (1963): *Philosophical Problems of Space and Time*, Alfred A. Knopf, New York
Hacking, I. (1983): *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge
Hanson, P.P. (1982): Recension of van Fraassen 1980, Philosophy of Science **49**, 290
Harding, S.G. (1976): *Can Theories be Refuted? Essays on the Duhem–Quine Thesis*, Reidel, Dordrecht
Hedrich, R. (2006): String Theory – From Physics to Metaphysics. To appear in: Physics and Philosophy. Open Access Online Journal: `http://physphil.uni-dortmund.de/`
Hegel, G.W.F. (1830): *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften*, Teil 1: *Die Logik* and Teil 2: *Die Naturphilosophie*. In: E. Moldenhauer and K.M. Michel (Eds.): Gesamtwerk, 8. and 9. Bd., Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main (1969 ff.)
Heisenberg, W. (1927): Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik, Z. Physik **43**, 172–198
Heisenberg, W. (1930a): *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie*, Hirzel, Leipzig. Repr.: Bibliographisches Institut, Mannheim (1958)
Heisenberg, W. (1930b): *Physical Principles of Quantum Theory*, transl. by C. Eckart and F.C. Hoyt, University of Chicago Press, Chicago
Heisenberg, W. (1967): *Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen*, Hirzel, Stuttgart
Heisenberg, W. (1969): *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, Piper, München. Repr. in: Heisenberg (1985) pp. 3–334
Heisenberg, W. (1971): Der Begriff der kleinsten Teilchen in der Entwicklung der Naturwissenschaft. In: *Meyers Enzyklopädisches Lexikon*, Vol. 2, Bibliographisches Institut, Mannheim, pp. 870–879. Repr. in: Heisenberg (1985) pp. 395–404.
Heisenberg, W. (1976): Was ist ein Elementarteilchen? Die Naturwissenschaften **63**, 1–7. Repr. in: Heisenberg (1985) pp. 507–513
Heisenberg, W. (1985): *Collected Works*, Part C III, ed. by W. Blum, H.-P. Dürr and H. Rechenberg, Piper, München, Zürich
Heitler, W., and Sauter, F. (1933): Stopping of fast particles with emission of radiation and the birth of positive electrons, Nature **132**, 892
Helmholtz, H. von (1887): Zählen und Messen erkenntnistheoretisch betrachtet. Engl. transl. in: R.S. Cohen and Y. Elkana (Eds.): *Epistemological Writings*, Boston Studies 37, Reidel, Dordrecht (1977)
Hempel, C.G. (1952): *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, University of Chicago Press, Chicago
Herrmann, A. (Ed.) (1962): *Zur statistischen Deutung der Quantenmechanik, Dokumente der Naturwissenschaft, Abt. Physik*, Bd. 1. Ernst Battenburg Verlag, Stuttgart
Hilbert, D. (1918): Axiomatisches Denken, Mathematische Annalen **78**, 405–415. Repr. in: *Gesammelte Abhandlungen*, Vol. 3, 146–156, Springer, Berlin (1935)
Hofstadter, R. (1956): Electron scattering and nuclear structure, Rev. Mod. Phys. **28**, 214–259

مكتبة الفكر الجديد

Hofstadter, R. (1989): A personal view of nucleon structure as revealed by electron scattering. In: Brown (1989) pp. 126–143
Hofstadter, R., Bumiller, F., and Yearian, M.R. (1958): Electromagnetic structure of the proton and neutron, Rev. Mod. Phys. **30**, 482–497
Hones, M.J. (1991): Scientific realism and experimental practice in high-energy physics, Synthese **86**, 29–76
Honner, J. (1987): *The Description of Nature: Niels Bohr and the Philosophy of Quantum Physics*, Clarendon Press, Oxford
Hooker, C.A. (1973): Metaphysics and modern physics. In: C.A. Hooker (Ed.): *Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory* Reidel, Dordrecht, pp. 174–304
Howard, D. (2002): Who invented the Copenhagen interpretation?, Philosophy of Science **71**, 669–682
Hoyningen-Huene, P. (1993): *Reconstructing Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago
Huber, R. (2000): *Poincaré und Einstein: Zur philosophischen Beurteilung physikalischer Theorien*, Mentis, Paderborn
Hughes, R.I.G. (1989): *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.)
Hume, D. (1739): *A Treatise of Human Nature*, John Noon, London. New edn. by L.A. Selby-Bigge: Clarendon Press, Oxford (1988)
Hüttemann, A. (1997): *Idealisierungen und das Ziel der Physik. Eine Untersuchung zum Realismus, Empirismus und Konstruktivismus in der Wissenschaftstheorie*, de Gruyter, Berlin, New York
Ihmig, K.-N. (2004): Die Bedeutung der Methoden der Analyse und Synthese für Newtons Programm der Mathematisierung der Natur. In: Meixner and Newen (2004) pp. 91–119
Itzykson, C., and Zuber, J.-B. (1985): *Quantum Field Theory*, McGraw-Hill, New York
Jackson, J.D. (1975): *Classical Electrodynamics*, 2nd edn., Wiley, New York, London
Jaeger, G., Shimony, A., and Vaidman, L. (1995): Two interferometric complementarities, Phys. Rev. A **51**, 54–67
Jammer, M. (1966): *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, New York
Jammer, M. (1974): *The Philosophy of Quantum Mechanics*, Wiley Interscience, New York
Janich, P. (1996): *Konstruktivismus und Naturerkenntnis. Auf dem Weg zum Kulturalismus*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt
Jaynes, E. (1980): Quantum beats. In: A.O. Barut (Ed.): *Foundations of Radiation Theory and Quantum Electrodynamics*, Plenum Press, New York, pp. 37–43
Jochmann, E., Hermes, O., and Spies, P. (1900): *Grundriß der Experimentalphysik*, 14th edn., Winckelmann, Berlin
Joos, E. (1990): Die Begründung klassischer Eigenschaften aus der Quantentheorie, Phil. Nat. **27**, 31
Kant, I. (1766): *Träume eines Geistersehers*, Kanter, Königsberg. Engl. Transl. by D. Walford and R. Meerbote (Eds): *The Cambridge Edition of the Works of Immanuel Kant. Theoretical Philosophy*, 1755–1770, Cambridge University Press, Cambridge (1992) pp. 923–989

مكتبة الفكر الجديد

Kant, I. (1781/87): *Kritik der reinen Vernunft*, Hartknoch (ed. A/B), Riga. Engl. transl.: P. Guyer and A.W. Wood (Eds.): *The Cambridge Edition of the Works of Immanuel Kant. Critique of Pure Reason*, Cambridge University Press, Cambridge (1998)

Kant, I. (1786): *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Riga. Engl. Transl.: M. Friedman: *Metaphysical Foundations of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge (2004)

Kant, I., Akademie-Ausgabe: Kants gesammelte Schriften. Hrsg. von der königlich preußischen Akademie der Wissenschaften (later: Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin). Bd. 1–23 (Werke, Briefe, Handschriftlicher Nachlaß), Berlin (1900–1955). Bd. 24 ff. (Vorlesungen), Berlin (1966 ff)

Kastner, R.E. (2005): Why the Afshar experiment does not refute complementarity, Stud. in Hist. and Phil. of Mod. Phys. **36**, 649–658

Keller, M., Lange, B., Hayasaka, K., Lange, W. and Walther, H. (2004): Continuous generation of single photons with controlled waveform in an ion-trap cavity system, Nature **431**, 1075–1078

Kim, Y.-H., Yu, R., Kulik, S.P., Shih, Y.H. and Scully, M.O. (1999): A delayed choice quantum eraser. Available as an e-print (13 March 1999) at `www.americanscientist.org/template/PDFDetail/assetid/35556`

Kleinknecht, K., and Burkhard, R. (1987): Z. Phys. C **34**, 209

Knorr-Cetina, K.D. (1981): *The Manufacture of Knowledge. An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Pergamon Press, Oxford

Knorr-Cetina, K.D. (1984): *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt

Knorr-Cetina, K.D. (1999): *Epistemic Cultures. How the Sciences Make Knowledge*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.), London

Krantz, D.H., Duncan, R., Suppes, L.P., and Tversky, A. (1971): *Foundations of Measurement*, Vol. 1, Academic Press, San Diego

Kuhlmann, M., Lyre, H., and Wayne, A. (Eds.) (2002): *Ontological Aspects of Quantum Field Theory*, World Scientific, Singapore

Kuhn, T.S. (1961): The function of measurement in modern physical science, Isis **52**, 161–193

Kuhn, T.S. (1962): *The Structure of Scientific Revolution*, 1st edn., University of Chicago Press, Chicago

Kuhn, T.S. (1970): *The Structure of Scientific Revolution*, 2nd edn., University of Chicago Press, Chicago

Kuhn, T.S. (1977): *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, University of Chicago Press, Chicago, London

Kyburg, H.E., Jr. (1984): *Theory and Measurement*, Cambridge University Press, Cambridge

Lamb, W.E., Jr., and Scully, M.O. (1969): The photoelectric effect without photons. In: *Polarisation, Matière et Rayonnement*, Presses Univ. de France, Paris, pp. 363–369

Landau, L.D., and Lifschitz, E.M. (1987): *Lehrbuch der theoretischen Physik*, Vol. I, *Mechanik*, 12th edn., Berlin

Landau, L.D., and Lifschitz, E.M. (1988): *Lehrbuch der theoretischen Physik*, Vol. III, *Quantenmechanik*, 8th edn., Berlin

Latour, B., and Woolgar, St. (1979): *Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts*, Sage Publications, Beverly Hills, London. Princeton University Press, Princeton (N.J.) (2nd edn. 1986)

مكتبة الفكر الجديد

Lattes, C.M.G. (1983): My work in meson physics with nuclear emulsions. In: Brown and Hoddeson (1983) pp. 307–310
Laudan, L. (1981): A confutation of convergent realism, Phil. of Science **48**, 19–49. Repr. in: Leplin (1984) pp. 218–249, or Papineau (1996) pp. 107–138
Leibniz, G.W. (1714): *Monadology*, ed. by N. Rescher, Routledge, London (2002)
Leibniz, G.W., and Clarke, S. (1715/16): *The Leibniz-Clarke Correspondence*, edited with introduction and notes by H.G. Alexander, Manchester University Press, Manchester (1956, repr. 1998)
Leonhard, H.S., and Goodman, N. (1940): The calculus of individuals and its use, Journal of Symbolic Logic **5**, 45–55
Leonard, C.S. (2003): Ideal or real: What is the "nature of science"? Philosophy of Education **2003**, 293–295
Leplin, J. (Ed.) (1984): *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley
Liss, T., and Tipton, P. (1997): The discovery of the top quark, Scientific American **277**, 54–59
Locke, J. (1689): *An Essay Concerning Human Understanding*, London. New edn. by P.H. Nidditch: Clarendon Press, Oxford (1975)
Lorentz, H.A. (1895): *Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, Section 12, Brill, Leiden. Repr. in: *Collected Papers*, Vol. 5, Martinus Nijhoff, The Hague (1936)
Lorenzen, P. (1974): *Konstruktive Wissenschaftstheorie*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt
Losee, J. (1993): *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, 3rd edn., Oxford University Press, Oxford, New York
Ludwig, G. (1990): *Die Grundstrukturen einer physikalischen Theorie*, 2nd edn., Springer, Berlin, Heidelberg, New York
Lyre, H. (2004): *Lokale Symmetrien und Wirklichkeit. Eine naturphilosophische Studie über Eichtheorien und Strukturenrealismus*, Schöningh, Paderborn
Mach, E. (1883): *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, 1st edn., Brockhaus, Leipzig. Quoted from the repr.: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1991, repr. of the 9th edn.: Brockhaus, Leipzig 1933). Engl. Transl.: *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of its Development*, transl. by T.J. McCormack, new introduction by K. Menger, Open Court, La Salle, Ill. (6th edn. 1960)
Mach, E. (1926): *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*, 5th edn., Barth, Leipzig. Quoted from the repr.: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1991). Engl. Transl.: *Knowledge and Error. Sketches on the Psychology of Enquiry*, with an introduction by E.N. Hiebert. Transl. by T.J. McCormack and P. Foulkes: Reidel, Dordrecht (1976)
Mackie, J.L. (1980): *The Cement of the Universe*, Clarendon Press, Oxford
MacKinnon, E.M. (1982): *Scientific Explanation and Atomic Physics*, University of Chicago Press, Chicago
Malament, D.B. (1996): In defense of dogma. Why there cannot be a relativistic quantum mechanics of (localizable) particles. In: R. Clifton (Ed.): *Perspectives on Quantum Reality*, Kluwer, Dordrecht, pp. 1–10
Mandel, L. (1976): The case for and against semiclassical radiation theory. In: *Progress in Optics*, Vol. 13 (A76-30145), North-Holland, Amsterdam, pp. 13–74
Margenau, H. (1954): Advantages and disadvantages of various interpretations of the quantum theory, Physics Today **7**, 6–13

مكتبة الفكر الجديد

Matthews, M.R. (2003): Data, phenomena, and theory: How clarifying the concepts can illuminate the nature of science, Philosophy of Education **2003**, 283–292

Maxwell, G. (1962): The ontological status of theoretical entities. In: H. Feigl and G. Maxwell (Eds.): *Scientific Explanation, Space, and Time*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. 3, University of Minnesota Press, Minneapolis, pp. 3–27

McMullin, E. (1985): Galilean Idealization, Studies in History and Philosophy of Science **16**, 247–273

Mehra, J., and Rechenberg, H. (1982): *The Historical Development of Quantum Theory*, Springer, New York, Heidelberg, Berlin (1982 ff.)

Meixner, U., and Newen, A. (Eds.) (2004): *Schwerpunkt: Geschichte der Naturphilosophie*, Band 7 von: *Philosophiegeschichte und logische Analyse*, Mentis Verlag, Paderborn

Messiah, A. (1964): *Mécanique quantique*, Vol. 2, Dunod, Paris. Engl. transl.: North Holland, Amsterdam (7th edn. 1973)

Messiah, A. (1969): *Mécanique quantique*, Vol. 1, Dunod, Paris. Engl. transl.: North Holland, Amsterdam (7th edn. 1973)

Meyer-Abich, K.M. (1965): *Korrespondenz, Individualität und Komplementarität*, Steiner, Wiesbaden

Mill, J.St. (1872): *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence and the Methods of Scientific Investigation*, Parker, London (reprint of 2nd edn.)

Millikan, R.A. (1911): The isolation of an ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stokes's law, Phys. Rev. **32**, 349–397. Partly reprinted in: Shamos (1959) pp. 238–249

Millikan, R.A. (1917): *The Electron*, University of Chicago Press, Chicago

Mittelstaedt, P. (1972): *Philosophische Probleme der modernen Physik*, 4th edn., Bibliographisches Institut, Mannheim

Mittelstaedt, P. (1986): *Sprache und Realität in der modernen Physik*, Bibliographisches Institut, Mannheim

Mittelstaedt, P. (1995): Die wechselseitigen Beziehungen zwischen der Quantentheorie und ihrer Interpretation. In: L. Krüger and B. Falkenburg (Eds.): *Physik, Philosophie und die Einheit der Wissenschaften*, Spektrum, Heidelberg, pp. 97–117

Mittelstaedt, P. (1997a): Is quantum mechanics a probabilistic theory? In: R.S. Cohen et al. (Eds.): *Potentiality, Entanglement and Passion-at-a-Distance*, Kluwer, Dordrecht, pp. 159–175

Mittelstaedt, P. (1997b): The emergence of statistical laws in quantum mechanics. In: M. Ferrero and A. van der Merwe (Eds.): *New Developments on Fundamental Problems in Quantum Physics*, Kluwer, Dordrecht, pp. 265–274

Mittelstaedt, P. (1998a): *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*, Cambridge University Press, Cambridge

Mittelstaedt, P. (1998b): The constitution of objects in Kant's philosophy and in modern physics. In: E. Castellani (Ed.): *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, Princeton University Press, Princeton, pp. 168–180

Mittelstaedt, P. (1999): Individualistic versus statistical interpretation of quantum mechanics. In: M.L. Dalla Chiara et al. (Eds.): *Language, Quantum, Music*, Kluwer, Dordrecht, pp. 231–239

مكتبة الفكر الجديد

Mittelstaedt, P. (2001): What if quantum mechanics is universally valid? In: E. Agazzi and J. Faye (Eds.): *The Problem of the Unity of Science* World Scientific, Singapore, pp. 177–188

Mittelstaedt, P. (2004): Interpretationsprobleme der Quantenmechanik, Phil. Nat. **42/2**, 227–256

Mittelstaedt, P. (2006): The intuitiveness and truth of modern physics. In: Carson and Huber (2006) pp. 251–266

Mittelstaedt, P., Prieur, A., and Schieder, R. (1987): Unsharp particle wave duality in a photon split-beam experiment, Found. Phys. **17**, 891–903

Mittelstaedt, P., and Weingartner, P. (2005): *Laws of Nature*, Springer, Berlin

Møller, Ch. (1931): Über den Stoß zweier Teilchen unter Berücksichtigung der Retardation der Kräfte, Z. Physik **70**, 786–795

Morgan, M., and Morrison, M. (Eds.) (1999): *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge University Press, Cambridge

Mott, N.F. (1929): The wave mechanics of α-rays, Proc. Roy. Soc. A **126**, 79–84. Repr. in: Wheeler and Zurek (1983)

Mott, N.F., and Massey, H.S. (1965): *The Theory of Atomic Collisions*, Clarendon Press, Oxford

Murdoch, D. (1981): *Niels Bohr's Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, Cambridge

Nachtmann, O. (1990): *Elementary Particle Physics. Concepts and Phenomena*, Springer, Berlin

Nagel, E. (1931): Measurement, Erkenntnis **2**, 313–333

Nagel, E. (1961): *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*, Routledge & Kegan Paul, London

Narens, L. (1985): *Abstract Measurement Theory*, MIT Press, Cambridge (Mass.)

Natorp, P. (1910): *Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften*, 2nd edn., B.G. Teubner, Leipzig, Berlin

Nersessian, N.J. (1987): *The Process of Science*, Reidel, Dordrecht

Newton, I. (1687): *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londinum. Quoted from the new Engl. transl.: *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated by I. Bernard Cohen and Anne Whitman with the assistance of Julia Budenz. University of California Press, Berkeley, London (1999)

Newton, I. (1704): *Opticks. Or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light. Also two Treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures*, London (1st edn.)

Newton, I. (1729): *Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophie* and his *System of the World*. Translated into English by A. Motte. To which are added the Laws of the Moon's motion, according to gravity, by J. Machin. The preface of Mr. R. Cotes to the second edition, etc., London. Repr.: The translations revised, and supplied with an historical and explanatory appendix by F. Cajori, University of California Press, Los Angeles (1934)

Newton, I. (1730): *Opticks*, London (4th edn.). Reprint with a Preface by I.B. Cohen, Dover, New York (1979)

Pais, A. (1986): *Inward Bound*, Clarendon Press, Oxford

Panofsky, W.K.H. (1968): Rapporteur talk. In: J. Prentki and J. Steinberger (Eds.): Proc. of the Fourteenth Int. Conf. on High-Energy Physics, Vienna 1988. Genf: CERN, 23–39

مكتبة الفكر الجديد

Papineau, D. (Ed.) (1996): *The Philosophy of Science*, Oxford University Press, Oxford

Particle Data Group (2004): *Particle Physics Booklet*, extracted from: S. Eidelman et al.: Review of Particle Physics, Physics Letters B 592

Peres, A. (1993): *Quantum Theory: Concepts and Methods*, Kluwer, Dordrecht

Peres, A., and Zurek, W.H. (1982): Is quantum theory universally valid? Am. J. Phys. **50**, 807–810

Perkins, D.H. (1987): *Introduction to High Energy Physics*, 3rd edn., Addison-Wesley, Menlo Park (Calif.)

Perkins, D.H. (1989): Cosmic-ray work with emulsions in the 1940s and 1950s. In: Brown et al. (1989) pp. 89–108

Perkins, D.H. (2000): *Introduction to High Energy Physics*, 4th edn., Addison-Wesley, Menlo Park (Calif.)

Perkins, D.H. (2003): *Particle Astrophysics*, Oxford University Press

Pfleegor, R.L., and Mandel, L. (1967): Interference of independent photon beams, Physical Review **159**, 1084–1088

Pickering, A. (1984): *Constructing Quarks*, Edinburgh University Press, Edinburgh

Pinsker, Z.G. (1953): *Electron Diffraction*, Butterworth, London

Planck, M. (1901): Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum, Ann. Phys. **4**, 553–563

Planck, M. (1908): Die Einheit des physikalischen Weltbildes. In: Planck (1965) pp. 28–51

Planck, M. (1965): *Vorträge und Erinnerungen*, 9th edn., Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt

Poser, H. (1981): Gottfried Wilhelm Leibniz. In: O. Höffe (Ed.): *Klassiker der Philosophie I*, Beck, München

Povh, B., Rith, K., Scholz, C., and Zetsche, F. (1999): *Particles and Nuclei. An Introduction to the Physical Concepts*, Springer, Berlin, London

Powell, C.F., Fowler, P.H., and Perkins, D.H. (1959): *The Study of Elementary Particles by the Photographic Method. An Account of the Principal Techniques and Discoveries Illustrated by an Atlas of Photomicrographs*, Pergamon Press, London

Pringe, H. (2006): Critic of the quantum power of judgement, Dissertation (University of Dortmund)

Psillos, St. (1999): *Scientific Realism. How Science Tracks Truth*, Routledge, London

Putnam, H. (1975): What is mathematical truth? In: *Mathematics, Matters and Methods. Philosophical Papers*, Vol. I, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 60–78

Putnam, H. (1980): Models and reality, Journal of Symbolic Logic **45.3**, 464–482. Repr. in: *Realism and Reason. Philosophical Papers*, Vol. III, Cambridge University Press, Cambridge (1983) pp. 1–25

Putnam, H. (1990): *Realism with a Human Face*, ed. by James Conant, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Quine, W.V.O. (1951): Two dogmas of empiricism. In: Quine (1953) pp. 20–46

Quine, W.V.O. (1953): *From a Logical Point of View*, Harvard University Press, Harvard

Quine, W.V.O. (1969): *Ontological Relativity and Other Essays*, Columbia University Press, New York and London

مكتبة الفكر الجديد

Raether, H. (1957): Elektroneninterferenzen. In: *Handbuch der Physik*, Bd. 32, 443
Ramsay F.P. (1929): Theories. In: R.B. Braithwaite (Ed.): *The Foundations of Mathematics*, Kegan Paul, London (1931) pp. 212–236
Redhead, M. (1983): Quantum field theory for philosophers. In: P.D. Asquith and T. Nickles (Eds.), PSA 2, pp. 57–99
Redhead, M. (1987): *Incompleteness, Nonlocality and Realism: A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*, Oxford University Press, Oxford
Redhead, M. (1988): A philosopher looks at quantum field theory. In: Brown and Harré (1988) pp. 9–23
Reichenbach, H. (1957): *The Philosophy of Space and Time* (Philosophie der Raum-Zeit-Lehre), translated by M. Reichenbach and J. Freund, Dover Publications, New York
Rescher N. (1955): Axioms for the part relation, Phil. Stud. **6**, 8–11
Riordan, M. (1987): *The Hunting of the Quark*, Simon & Schuster, New York
Robertson, H.P. (1929): The uncertainty principle, Phys. Rev. **34**, 163–164
Rosenbluth, M.N. (1950): High energy elastic scattering of electrons on protons, Phys. Rev. **79**, 615–619
Rossi, B. (1952): *High-Energy Particles*, Prentice Hall, New York
Rossi, B. (1983): The decay of "mesotrons" (1939–1943). Experimental particle physics in the age of innocence. In: Brown and Hoddeson (1983) pp. 183–205
Rutherford, E. (1911): The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom, Philo. Mag. **21**, 669–688
Rutherford, E., Chadwick, J., and Ellis, C.D. (1930): *Radiations from Radioactive Substances*, Cambridge University Press, Cambridge. Repr.: Cambridge University Press, Cambridge (1951)
Sachs, R.G., and Wali, K.C. (1989): Comments on electromagnetic form factors of the nucleon. In: Brown et al. (1989) pp. 144–146
Scheibe, E. (1973): *The Logical Analysis of Quantum Mechanics*, Pergamon Press, Oxford
Scheibe, E. (1997a): Mißverstandene Naturwissenschaft. In: *Wissenschaft und Aufklärung*, Montagsvorträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, ed. by R. Enskat, Leske und Budrich, Opladen, pp. 9–29
Scheibe, E. (1997b): *Die Reduktion physikalischer Theorien*. Teil I: *Grundlagen und elementare Theorie*, Springer, Berlin
Scheibe, E. (1999): *Die Reduktion physikalischer Theorien*. Teil II: *Inkommensurabilität und Grenzfallreduktion*, Springer, Berlin
Scheibe, E. (2001): *Between Rationalism and Empiricism. Selected Papers in Philosophy of Physics*, ed. by B. Falkenburg, Springer, New York
Schilpp, P.A. (Ed.) (1949): *Albert Einstein: Philosopher – Scientist*, Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois
Schmidt, H.-J. (1993): A definition of mass in Newton–Lagrange mechanics, Phil. Nat. **30**, 189–207
Schrödinger, E. (1927): Über den Comptoneffekt, Annalen der Physik **82**, 257–264
Schweber, S.S. (1994): *QED and the Men Who Made It. Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*, Princeton University Press, Princeton (N.J.), Chichester (1994)
Scully, M.O., and Drühl, K. (1982): Quantum eraser: A proposed photon correlation experiment concerning observation and "delayed choice" in quantum mechanics, Phys. Rev. A **25**, 2208–2213

مكتبة الفكر الجديد

Scully, M.O., and Walther, H. (1989): Quantum optical test of observation and complementarity in quantum mechanics, Phys. Rev. A **39**, 5229–5236
Scully, M.O., Englert, B.-G., and Schwinger, J. (1989): Spin coherence and Humpty-Dumpty. III. The effects of observation, Phys. Rev. A **40**, 1775–1784
Scully, M.O., Englert, B.-G., and Walther, H. (1991): Quantum optical tests of complementarity, Nature **351**, 111–116
Seibt, J. (2002): Quanta, tropes, and processes: On ontologies for QFT beyond the myth of substance. In: Kuhlmann et al. (2002) pp. 53–93
Shamos, M.H. (Ed.) (1959): *Great Experiments in Physics*, Henry Holt & Co, New York
Shapere, D. (1982): The concept of observation in science and philosophy, Phil. of Sci. **49**, 485–525
Shillady, C., and Busch, P. (2006): Complementarity in Mach–Zehnder interferometry. Publication in preparation
Simons, P. (1987): *Parts. A Study in Ontology*, Clarendon Press, Oxford
Smart, J.J.C. (1963): *Philosophy and Scientific Realism*, Routledge & Kegan Paul, London
Sneed, J.D. (1971): *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Reidel, Dordrecht
Sneed, J.D. (1983): Structuralism and scientific realism, Erkenntnis **19**, 345–370
Stegmüller, W. (1970): *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie*, Vol. 2: *Theorie und Erfahrung*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York
Stöckler, M. (1984): *Philosophische Probleme der relativistischen Quantenmechanik*, Duncker & Humblot, Berlin
Stoney, G.J. (1891): On the cause of double lines and of equidistant satellites in the spectra of gases, Scientific Transactions of the Royal Dublin Society **4**, 563–608
Storey, E.P., Tan, S.M., Collet, M.J., and Walls, D.F. (1994): Path detection and the uncertainty principle, Nature **367**, 626–628
Storey, E.P., Tan, S.M., Collet, M.J., and Walls, D.F. (1995): Complementarity and uncertainty, Nature **375**, 368
Streater, R.F. (1988): Why should anyone want to axiomatize quantum field theory? In: Brown and Harré (1988) pp. 137–148
Streater, R.F., and Wightman, A.S. (1964): *PCT, Spin and Statistics, and All That*, Benjamin, New York
Suppes, P. (1962): Models of data. In: E. Nagel, P. Suppes, and A. Tarski (Eds.): *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Proceedings of the 1960 International Congress, Stanford University Press, Stanford 252–261
Suppes, P. (1969): *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, Reidel, Dordrecht
Suppes, P. (1980): Article "Messung" in: J. Speck (Ed.): *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe*, Vol. 2., Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen
Swoyer, C. (1987): The metaphysics of measurement. In: Forge (1987) pp. 235–290
Tarski, A. (1956): *Logic, Semantics, Metamathematics. Papers from 1923 to 1938*, translated by J.H. Woodger, Clarendon Press, Oxford
Teller, P. (1995): *An Interpretive Introduction to Quantum Field Theory*, Princeton University Press, Princeton (N.J.)
Tetens, H. (1987): *Experimentelle Erfahrung*, Meiner, Hamburg
Tetens, H. (1994): *Geist, Gehirn, Maschine: Philosophische Versuche über ihren Zusammenhang*, Reclam Verlag, Stuttgart

مكتبة الفكر الجديد

Thomson, J.J. (1897): Cathode rays, Phil. Mag. **44**, 293–316
Thomson, J.J. (1899): On the masses of the ions in gases at low pressures, Phil. Mag. **48**, 547–567
Townsend, J.S. (1897): On electricity in gases and the formation of clouds in charged gases, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society **9**, 244–258
Trigg, G.L. (1971): *Crucial Experiments in Modern Physics*, Crane Russah & Co, New York
van Fraassen, B.C. (1980): *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford
van Fraassen, B.C. (1987): The semantic approach to scientific theories. In: Nersessian (1987) pp. 105–124
van Fraassen, B.C. (1991): *Quantum Mechanics. An Empiricist View*, Clarendon Press, Oxford
von Neumann, J. (1932): *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer, Berlin. Engl. transl. by R. Beyer: *Mathematical Foundation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, Princeton (1955)
von Weizsäcker, C.F. (1971): *Die Einheit der Natur*, Hanser, München, Wien
von Weizsäcker, C.F. (1985): *Der Aufbau der Physik*, Hanser, München, Wien
von Wright, G.H. (1971): *Explanation and Understanding*, Cornell University Press, Ithaca
Walborn, St.P., Terra Cunha, M.O., Pádua, S., and Monken, C.H. (2003): Quantum erasure, American Scientist **91**, 336–343
Walls, D.F., and Milburn, G.J. (1994): *Quantum Optics*, Springer, Berlin
Weingard, R. (1988): Virtual particles and the interpretation of quantum field theory. In: Brown and Harré (1988) pp. 43–59
Wheaton, B.R. (1983): *The Tiger and the Shark*, Cambridge University Press, Cambridge
Wheeler, J.A. (1979–1981): Law without law. In: Wheeler and Zurek (1983) pp. 182–213
Wheeler, J.A., and Feynman, R.P. (1945): Interaction with the absorber as the mechanism of radiation, Rev. Mod. Phys. **17**, 157–181
Wheeler, J.A., and Zurek, W.H. (1983): *Quantum Theory and Measurement*, Princeton University Press, Princeton (N.J.), Guildford
Wigner, E.P. (1939): On unitary representations of the inhomogeneous Lorentz group, Annals of Mathematics **40**, 149–204
Wigner, E.P. (1964): Symmetry and conservation laws, Proceedings of the National Academy of Sciences USA **51**, 956–965. Repr. in: *Philosophical Reflections and Syntheses*, Springer, Heidelberg (1997) pp. 297–333
Wigner, E.P. (1967): *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, Bloomington. Repr.: Woodbridge, Connecticut (1979)
Wind, E. (1934): *Das Experiment und die Metaphysik. Zur Auflösung der kosmologischen Antinomien*, Mohr, Tübingen. Repr. ed. by B. Buschendorf and introduced by B. Falkenburg, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main (2001). Engl. transl.: *Experiment and Metaphysics. Towards a Resolution of the Cosmological Antinomies*, transl. by C. Edwards and introduced by M. Rampley, European Humanities Research Centre, University of Oxford, Oxford (2001)
Wiseman, H., and Harrison, F. (1995): Uncertainty over complementarity? Nature **377**, 584
Wooters, W.K., and Zurek, W.H. (1979): Complementarity in the double-slit experiment: Quantum nonseparability and a quantitative statement of Bohr's principle, Phys. Rev. D **19**, 473–484

مكتبة الفكر الجديد

Worrall, J. (1989): Structural realism: The best of both worlds? Dialectica **43**, 99–124. Repr. in: Papineau (1996) pp. 139–165

Wu, Ch.-Sh. (1957): Experimental test of parity conservation in beta decay, Phys. Rev. **105**, 1413–1415

Zajonc, A.G. (1983): Proposed quantum-beats, quantum-eraser experiment. In: Mandel, L., and Wolf, E. (Eds.): *Coherence and quantum optics V: Proceedings of the Fifth Rochester Conference on Coherence and Quantum Optics*, held at the University of Rochester, June 13–15, 1983, Plenum Press, New York (1984) pp. 323–329

Zou, X.Y., Wang, L.J., and Mandel, L. (1991): Induced coherence and indistinguishability in optical interference, Phys. Rev. Lett. **67**, 318–321

مكتبة الفكر الجديد

معجم إنجليزي - عربي

Action-at-a-distance	الفعل عن بُعد
Agnostic	لا أدري
Amplitude of the pendulum	سعة البندول
A posteriori	البعدي
A priori	القبلي
Categories	المقولات
Causal realism	الواقعية العلية
Cloud chamber	الغرفة السحابية
Constructive empiricism	التجريبية البنائية
Copenhagen interpretation	تفسير كوبنهاجن
Correlation	ترابط
Correspondence	التناظر
Counterfactual	مفارقة للواقع
Critical realism	الواقعية النقدية
Detection	الرصد/ الكشف
Electron gun	قاذف الإلكترون

مكتبة الفكر الجديد

Empiricism	التجريبية
Epicycle	فلك التدوير
Expert's dilemma	معضلة الخبير
Form factor	مُعامل الشكل
Geiger counter	عداد جيجر
Global Realism	الواقعية الشاملة
Group theoretical particle concept (GT)	مجموعة المفهوم النظري للجُسيم
Hilbert space	فراغ هيلبرت
Idealization	الأمْثَلة/ المعالجة المثالية
Incommensurability	لا مقياسية (غير قابلة للقياس)
Instrumentalism	الأداتية
Isospin	اللف التماثلى
Joint product	المنتجات المتزامنة
Lie Groups	مجموعات "لاي"
Mereology	ميريولوجي
Moderate empiricism	التجريبية المُعتدلة
Monads	الموناد ات
Neutral week currents	التيارات الضعيفة المتعادلة

مكتبة الفكر الجديد

Non sequitur	استدلال غير لازم منطقيًّا
Orthogonal	مُتعامد
Parity	ندية
Pauli's exclusion principle	مبدأ باولي للاستبعاد
Perpendicular	عمودي
Phlogiston	اللاهوب (الفلوجستون)
Potential	الجهد (القوة الدافعة الكهربائية معبرًا عنها بالفولتات)
Primary qualities	الكيفيات الأولية
Principle of complementarity	مبدأ التتام
Principle of energy conservation	مبدأ حفظ الطاقة
Quantum computer	الكمبيوتر الكمي
Quantum eraser	الممحاة الكمية
Refraction coefficient of light rays	مُعامل انعطاف أشعة الضوء
Regularized	مُطردة
Reliability condition	شرط الجدارة بالثقة
Reproducible	قابل للتكرار
Scientific realism	الواقعية العلمية

مكتبة الفكر الجديد

Space-time	الزمكان
Spin	اللف
Strict empiricism	التجريبية الصارمة
Superstring theory	نظرية الأوتار الفائقة
Symbiosis	تكافل/ تعايش (أحياء)
Theory-laden	محملة بالنظرية
Thought experiments	التجارب الذهنية (الفكرية)
Work	الشغل

معجم عربي – إنجليزي

Instrumentalism	الأداتية
Non sequitur	استدلال غير لازم منطقيًا
A posteriori	البعدي
Empiricism	التجريبية
Constructive empiricism	التجريبية البنائية
Thought experiments	التجارب الذهنية (الفكرية)
Strict empiricism	التجريبية الصارمة

مكتبة الفكر الجديد

Moderate empiricism	التجريبية المُعتدلة
Copenhagen interpretation	تفسير كوبنهاجن
Symbiosis	تكافل/ تعايش (أحياء)
Correspondence	التناظر
Correlation	ترابط
Idealization	الأمثَلَة/ المعالجة المثالية
Neutral week currents	التيارات الضعيفة المتعادلة
Potential	الجهد (القوة الدافعة الكهربائية معبرًا عنها بالفولتات)
Detection	الرصد/ الكشف
Space-time	الزمكان
Amplitude of the pendulum	سعة البندول
Reliability condition	شرط الجدارة بالثقة
Work	الشغل
Geiger counter	عداد جيجر
Perpendicular	عمودي
Cloud chamber	الغرفة السحابية
Hilbert space	فراغ هيلبرت

مكتبة الفكر الجديد

Action-at-a-distance	الفعل عن بُعد
Epicycle	فلك التدوير
Reproducible	قابل للتكرار
Electron gun	قاذف الإلكترون
A priori	القبلي
Quantum computer	الكمبيوتر الكمي
Primary qualities	الكيفيات الأولية
Agnostic	لا أدري
Incommensurability	لا مقياسية (غير قابلة للقياس)
Phlogiston	اللاهوب (الفلوجستون)
Spin	اللف
Isospin	اللف التماثلي
Quantum eraser	الممحاة الكمية
Pauli's exclusion principle	مبدأ باولي للاستبعاد
Principle of energy conservation	مبدأ حفظ الطاقة
Principle of complementarity	مبدأ التتام
Orthogonal	مُتعامد
Lie groups	مجموعات "لاي"

مكتبة الفكر الجديد

Group theoretical particle concept (GT)	مجموعة المفهوم النظري للجُسيم
Theory-laden	محملة بالنظرية
Regularized	مُطردة
Refraction coefficient of light rays	مُعامل انعطاف أشعة الضوء
Form factor	مُعامل الشكل
Expert's dilemma	معضلة الخبير
Counterfactual	مفارقة للواقع
Categories	المقولات
Joint product	المنتجات المتزامنة
Monads	المونادات
Mereology	ميريولوجي
Parity	ندية
Superstring theory	نظرية الأوتار الفائقة
Global realism	الواقعية الشاملة
Scientific realism	الواقعية العلمية
Causal realism	الواقعية العلية
Critical realism	الواقعية النقدية

مكتبة الفكر الجديد

المؤلفة فى سطور:

بريجيته فالكينبورج

درست الفيزياء في إرلانين، ببرين وهايدلبرج، والفلسفة في بايفيلد. حصلت على منحة دكتوراه في عام ١٩٨٥، ثم درجة الدكتوراه في فيزياء الجُسيمات التجريبية في العام التالي. أصبحت منذ عام ١٩٩٧ أستاذًا متفرغًا للفلسفة النظرية وفلسفة العلم والتقنية في جامعة دورتموند. وهي عضو في "الأكاديمية الدولية لفلسفة العلوم" ببروكسل، و"الأكاديمية الأوروبية للعلم"، ومتحدثة للمجموعة العاملة بفلسفة الفيزياء للجمعية الفيزيائية العلمية. حصلت على جوائز عن عملها في مجال فلسفة العلم، كما نشرت العديد من الكتب والأبحاث عن جوانب متعددة في الفيزياء والميتافيزيقا.

مكتبة الفكر الجديد

المترجمان فى سطور:

نبيل ياسين البكري

أستاذ غير متفرغ بقسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة حلوان. حصل على البكالوريوس والماجيستير والدكتوراه من كلية العلوم جامعة القاهرة. تدرج في العمل الوظيفي والإداري بدءًا من: فيزيائي بالمعهد القومي لبحوث الأورام – جامعة القاهرة، ثم مدرس مساعد وصولاً إلى أستاذ بقسم الفيزياء بكلية العلوم بالفيوم– جامعة القاهرة فرئيس لمجلس قسم الفيزياء بالكلية فوكيل للكلية، ثم عميد لكلية العلوم جامعة الفيوم لفترتين.

أنشطة علمية متنوعة:

١–عضو لجنة ترقية الفيزياء للأساتذة والأساتذة المساعدين بهيئة الطاقة الذرية لدورتين في الفترة ٢٠٠٨ – حتى الآن.

٢–خبير بمجمع اللغة العربية من ٢٠١٢ حتى الآن.

٣– أمين الجمعية الفيزيقية المصرية ٢٠٠٢ حتى الآن.

٤– عضو مجلس إدارة مركز البحوث النووية بهيئة الطاقة الذرية ٢٠٠٨ حتى الآن.

٥– رئيس شعبة الفيزياء والرياضيات والفلك بنقابة العلميين العامة من ١٩٩٣ في فترات متقطعة تخللها سفر للخارج حتى أكتوبر ٢٠١٠.

مكتبة الفكر الجديد

٦- رئيس نقابة المهن العلمية بالفيوم من أكتوبر ٢٠١١ ، ثم وكيل أول لنقابة العلميين بمصر حتى الآن..

٧- له أكثر من ٥٠ بحثًا في مجال فيزياء الطاقة العالية إضافة إلى بعض الأبحاث في مجال الفيزياء الفلكية وطاقة الرياح، وأشرف على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه.

٨- شارك في العديد من الكتب المؤلفة باللغة العربية (٥) في الفيزياء النووية وفيزياء العلوم الأساسية والنسبية وقوى الطبيعة وميكانيكا الكم والفيزياء العملية وتجارب المحاكاة، منشورة بدار الفكر العربي من ٢٠٠١ حتى ٢٠٠٩.

٩- شارك في مؤتمرات دولية عديدة بالداخل والخارج "سويسرا وألمانيا وإيطاليا" وساهم في التحكيم الدولي للبحوث العلمية.

١٠- أمين عام المؤتمر القومي الأول لعلوم الفيزياء والرياضيات عام ١٩٩٥. ثم أمين عام المؤتمر الدولي للفيزياء النووية المنعقد بالفيوم عام ٢٠٠٣.

١١- قام بالتدريس والانتداب بالعديد من الجامعات بمصر والسعودية.

١٢- مدير مشروع التطوير المستمر للجودة والاعتماد (CIQAP) في الفترة من ٢٠٠٩-٢٠١٠ ومدير مشروع الحزم الإلكترونية التابع لمشروع تطوير التعليم العالي بكلية العلوم جامعة الفيوم ٢٠٠٧/٢٠٠٨، ومشروع توكيد الجودة والاعتماد (QAAP) في الفترة من ٢٠٠٦-٢٠٠٩ بكلية علوم الفيوم.

١٣- ساهم في إعداد وتنفيذ جانب من خطة تنمية محافظة الفيوم عام ٢٠٠٩.

١٤- كتابة العديد من المقالات العلمية والبيئية في عدة صحف وفى مجلة "العلميون".

مكتبة الفكر الجديد

أحمد حمدي مصطفى

- حصل على المركز الثاني في مسابقة القصة القصيرة على مستوى جامعة القاهرة ٢٠٠٣.
- حصل على درجة الليسانس في الآداب من جامعة القاهرة – قسم الفلسفة – بتقدير عام جيد ٢٠٠٤.
- حصل على دبلومة إدارة الموارد البشرية من الجامعة الأمريكية بالقاهرة ٢٠٠٨.
- حصل على درجة الماجستير في فلسفة العلوم من جامعة القاهرة في موضوع "المنهج العلمي عند وليم ويول" ٢٠١٠ ، بتقدير ممتاز مع التوصية بالطبع والتداول. بإشراف أ.د. يمنى طريف الخولي.
- حصل على جائزة الدكتور زكي نجيب محمود ٢٠١١ عن رسالته لنيل درجة الماجستير.
- حصل على دبلومة الترجمة الفورية من الجامعة الأمريكية بالقاهرة ٢٠١٤.
- قام بترجمة كتاب "اللبنات الأساسية للطبيعة البشرية" للمركز القومي للترجمة (تحت الطبع).
- قام بنشر عدد من المقالات في الصحف المصرية.

مكتبة الفكر الجديد

التصحيح اللغوى: نعيمة عاشور

المشـــرف الفنى: حســـن كـــامل

الميتافيزيقا لغة هي ما بعد الطبيعة، وهي في التقليد الفلسفي الموغل في تاريخ الفكر الإنساني البحث عن العلل الأولى، أو البحث في الموجود بما هو موجود. أما اليوم فالميتافيزيقا مصطلح جامع لأي بحث يثير التساؤلات حول واقعية ما لا يمكن التعامل معه بالمنهج العلمي.

أما الجُسيمات فهي جسيمات مادون الذرة، إذ يعرف فيزيائيو الجُسيمات اليوم أن هناك مجموعتان من هذه الجُسيمات التي تُبنى منها المادة، وهما الكواركات واللبتونات. يندرج تحت كل مجموعة من هاتين المجموعتين ستة أنواع؛ فبالنسبة للكواركات هناك: الأسفل والأعلى والغريب والفتنة والقاع والقمة، أما في مجموعة اللبتونات فهناك: الإلكترون ونيوترينو الإلكترون والميون ونيوترينو الميون والتاو ونيوترينو التاو. والسؤال الآن إذا كان العلم قد قطع خطوات واسعة نحو تفكيك بنية المادة والنفاذ إلى جسيماتها الدقيقة، فماذا نحن فاعلون إذاً بالميتافيزيقا؟!

مكتبة
الفكر الجديد
01-06-2018